

**Методический подход к оценке качества
и эффективности создания технических комплексов
космодромов для подготовки изделий
ракетно-космической техники**

© А.В. Синельщиков¹, Д.К. Драгун^{1,2}, В.В. Козьмин²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

² АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, 121309, Российская Федерация

Рассмотрены вопросы построения и проведения качественной оценки технических комплексов космодромов, служащих для наземной подготовки изделий ракетно-космической техники. Они представляют собой сложные технические системы, характеризующиеся сложной структурой построения, которые способны обеспечить решение широкого спектра функциональных задач. Предложен методический подход к оценке качества и эффективности создания технических комплексов космодромов, учитывающий специфику решаемых ими задач, а также отражающий полноту их возможных технических характеристик. В качестве основного критерия данной оценки предложено использовать показатель технического уровня, являющийся важнейшей общепринятой характеристикой качества разработки сложных технических систем как военного, так и гражданского назначения. Этот критерий представляет собой обобщенную характеристику физических свойств, возможностей и степени технической новизны рассматриваемой системы. Предложена и обоснована структура интегральных оценочных показателей технического уровня технических комплексов космодромов, а также установлена ее взаимосвязь с основными этапами их жизненного цикла, каждый из которых характеризуется своими специфическими показателями и критериями качества протекающих процессов, соответствующих конкретным задачам. Применение предложенного подхода позволит повысить обоснованность управленческих и технических решений, принимаемых на всех этапах создания технических комплексов космодромов, а также решить задачу выбора наиболее предпочтительного проектного облика технического комплекса из множества допустимых вариантов-альтернатив.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, космодром, наземная космическая инфраструктура, технический комплекс, технологическое оборудование, сложная техническая система, качество, эффективность, жизненный цикл, оценочный показатель, технический уровень

Введение. В настоящее время в Российской Федерации (РФ) развернуты работы по наращиванию орбитальных группировок космических аппаратов (КА), которые служат и в общехозяйственных интересах, и в интересах Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ). Форсируются работы по созданию других перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ), способных обеспечить технологический суверенитет РФ и сохранение за ней статуса лидера в области освоения дальнего и околоземного космического пространства.

Как следствие, активно ведется работа по созданию объектов наземной космической инфраструктуры (НКИ), служащей для реализации наземной подготовки перспективных изделий РКТ и способной обеспечить успешное выполнение задач, поставленных перед отечественной ракетно-космической отраслью (РКО). В частности, активно ведется создание и модернизация технических комплексов (ТК), являющихся неотъемлемой частью инфраструктуры космодрома и способных отвечать всем требованиям по эффективности своего создания и последующей эксплуатации, а также соответствующих лучшим мировым практикам и инновационным направлениям в развитии и эксплуатации НКИ в целом [1–4].

Согласно терминологическому определению ГОСТ Р 53802–2010, ТК представляют собой совокупность технологически и функционально взаимосвязанных технических средств, средств управления и сооружений, предназначенных для проведения всех видов работ с ракетой-носителем (РН), разгонным блоком и КА до вывоза их на стартовый комплекс.

Типовая структурная схема ТК космодрома для подготовки изделий РКТ представлена на рис. 1.

Таким образом, ТК космодромов представляют собой сложные технические системы (СТС), для которых характерны сложная структура построения, способность обеспечивать решение функциональных задач широкого спектра, а также сложный параметрический образ, включающий в себя большое количество технических характеристик [5, 6].

Как правило, в современной практике при создании СТС военного и гражданского назначения с целью повышения обоснованности управленческих и технических решений, принимаемых на всех стадиях проектирования, а также с целью выбора наиболее предпочтительного облика СТС из множества допустимых вариантов-альтернатив, осуществляется проведение ее качественной оценки. Достоверность такой оценки достигается путем использования соответствующих апробированных математических методов и моделей, способов их оценки, а также наиболее полным учетом факторов, условий, показателей и параметров исследуемых систем. В качестве основного критерия данной оценки принимается показатель технического уровня (ТУ), являющийся важнейшей характеристикой качества разработки и представляющий собой обобщенную характеристику физических свойств, возможностей и степень технической новизны рассматриваемой СТС [7–14].

Чаще всего проведение оценки технического уровня любого объекта основано на сопоставлении значений оценочных показателей (ОП) рассматриваемого объекта с соответствующими значениями объекта-аналога, принятого за базу сравнения. Проведение подобной оценки подразумевает наличие четко оформленной структуры ОП,

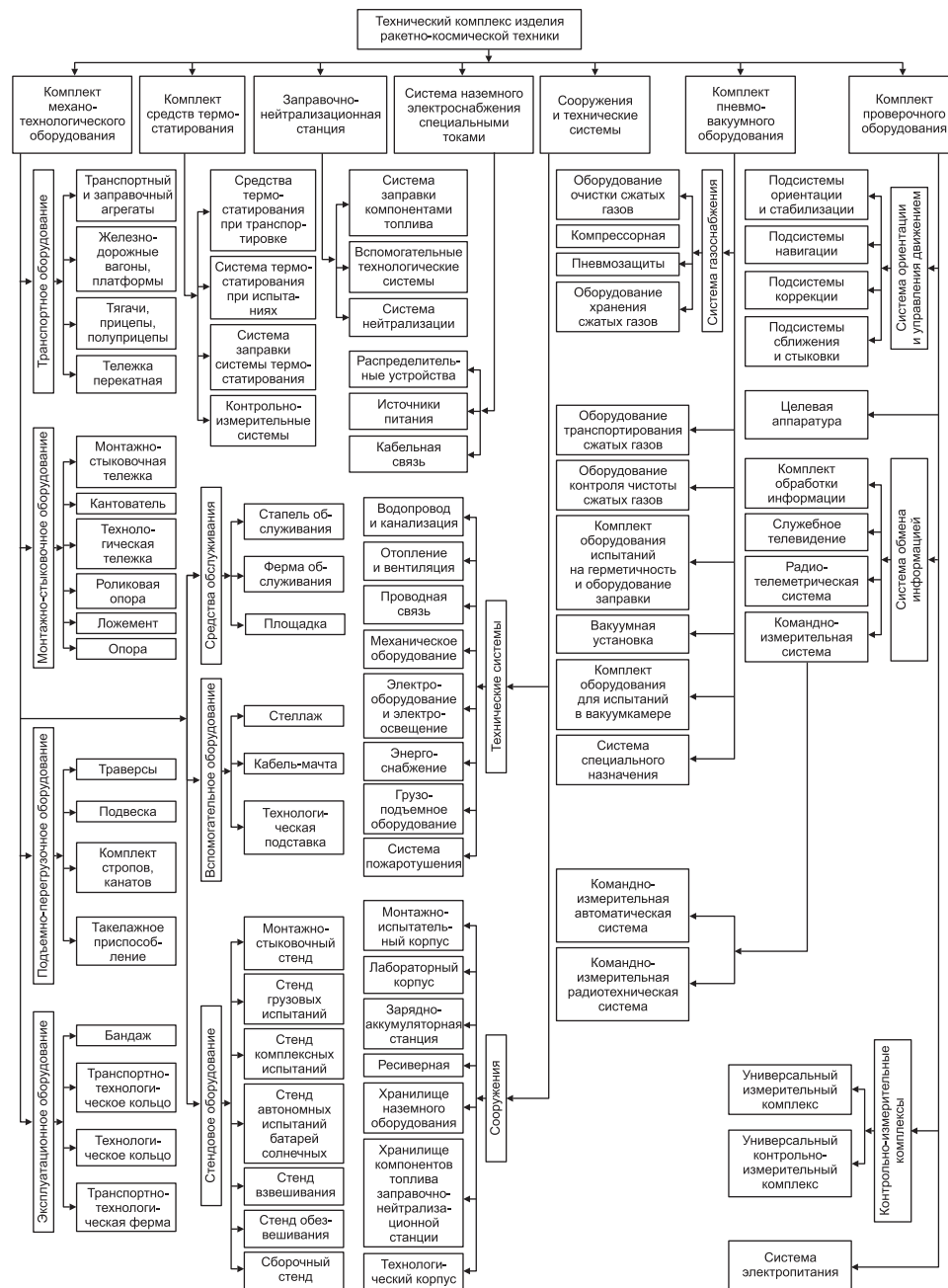


Рис. 1. Типовая структурная схема технологического комплекса космодрома для подготовки изделий ракетно-космической техники

способной наиболее полно учитывать особенности и характеристики анализируемых объектов, предполагается, что значения данных ОП известны или достаточно легко определимы. В частности, при создании и последующей возможной модернизации ТК космодромов также существует серьезная необходимость проведения качественной оценки

их предполагаемого проектного облика, особенно на ранних этапах данных работ. Однако в настоящее время в отечественной РКО нет четко оформленных критериев и методик, позволяющих проводить подобную оценку, а также отсутствует методический аппарат, необходимый для проведения корректного сравнения и дальнейшего анализа ТК, который учитывает специфику решаемых ими функциональных задач широкого спектра и отражает полноту их возможных технических характеристик.

Цель настоящей научной статьи — повышение эффективности создания ТК космодромов за счет разработки и последующего применения методического подхода, позволяющего проводить комплексную оценку качества и технического уровня ТК космодромов, а также способного учитывать специфику решаемых ими функциональных задач широкого спектра и отражать полноту их возможных технических характеристик.

Методы решения поставленной задачи и принятые допущения. Для решения данной задачи проанализирован жизненный цикл (ЖЦ) ТК космодрома для подготовки изделий РКТ и выявлены его основные этапы, представленные на рис. 2. Также разработана и предложена структура интегральных ОП технического уровня ТК космодромов, соответствующая основным этапам ЖЦ ТК и характеризующая основные особенности и специфические показатели качества протекающих на этих этапах процессов.

В общем случае под ЖЦ СТС понимают интервал времени от начала ее создания до завершения эксплуатации и последующей возможной утилизации/консервации. Следует отметить, что в инженерных дисциплинах, связанных с созданием СТС, введение самого понятия ЖЦ вызвано тем, что от момента возникновения замысла по созданию СТС до прекращения ее функционирования такие системы претерпевают немалое количество изменений и их облик может быть существенно изменен. Данное понятие, являющееся одним из фундаментальных в системотехнике, способствует улучшению процесса создания СТС, а также их последующей эксплуатации.

Разбиение ЖЦ на отдельные этапы в РФ регламентируется рядом нормативных документов федерального уровня и отдельной нормативно-технической документацией (НТД), составленной конкретно для той или иной отрасли промышленности, в том числе и для отечественной РКО. В частности, в отечественной РКО создание, производство и эксплуатация ТК строго регламентируется НТД, устанавливающей порядок и этапы проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию изделий РКТ и их составных частей (СЧ), а также виды и комплектность основных конструкторских документов, которые следует оформлять в конце каждого из этапов данных работ.

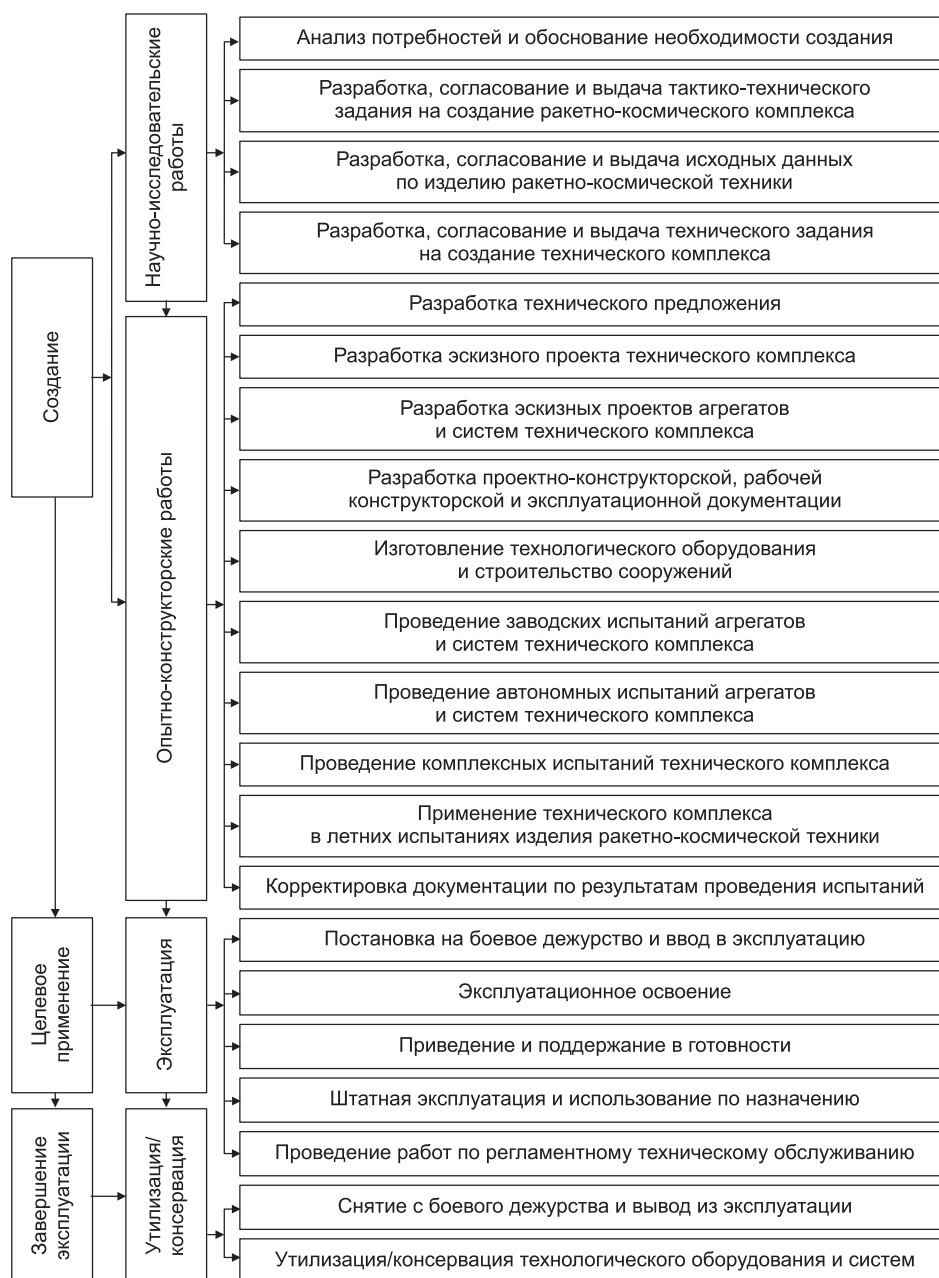


Рис. 2. Основные этапы жизненного цикла технического комплекса космодрома для подготовки изделий РКТ

Исходя из данных НТД, а также учитывая многолетний опыт создания и последующей эксплуатации ТК, накопленный в профильных предприятиях отечественной РКО, в ЖЦ ТК, включающем в себя такие основные этапы, как создание, целевое применение и последующее завершение эксплуатации, присущие ЖЦ любой другой СТС, можно выделить следующие наиболее характерные стадии:

- 1) научно-исследовательские работы (НИР);
- 2) опытно-конструкторские работы;
- 3) эксплуатация;
- 4) утилизация/консервация.

Этап НИР характеризуется деятельностью, предшествующей созданию ТК, он включает в себя такие виды работ:

- анализ текущих отраслевых потребностей и обоснование необходимости создания ТК;
- разработка, согласование и выдача тактико-технического задания на создание ракетно-космического комплекса;
- разработка, согласование и выдача исходных данных (ИД) по изделию РКТ;
- разработка, согласование и выдача технического задания (ТЗ) на создание ТК.

На данном этапе силами профильных научно-исследовательских институтов отечественной РКО, научно-исследовательских институтов смежных отраслей, академических институтов и других компетентных организаций проводится анализ текущих отраслевых потребностей и приводится обоснование необходимости создания ТК. Данный этап принято называть этапом внешнего или системного проектирования. Подобное название связано с тем, что на этом этапе ТК рассматривается как компонент системы более высокого уровня (надсистемы), учитывается его взаимодействие с окружающей средой и другими компонентами надсистемы, а также проводится оценка прогнозируемых результатов, которые могут быть получены при эксплуатации создаваемого ТК.

Одним из главных результатов проведения НИР является оформление головным предприятием-разработчиком ТЗ на создание ТК, определение исходных данных по изделиям РКТ, разрабатываемых предприятием-изготовителем, а также выдача Государственным заказчиком в лице Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» (ГК «Роскосмос»), МО РФ, Российской академии наук и ряда других компетентных организаций тактико-технического задания на создание соответствующего ракетно-космического комплекса в целом.

Этап ОКР — наиболее ответственный и объемный этап при создании ТК, который во многом определяет технический облик комплекса и включает в себя следующие виды работ:

- разработка технического предложения (ТП);
- разработка эскизного проекта (ЭП) ТК;
- разработка ЭП агрегатов и систем ТК;
- разработка проектно-конструкторской, рабочей конструкторской и эксплуатационной документации (ЭД);
- изготовление технологического оборудования (ТО) и строительство сооружений;

- проведение заводских испытаний (ЗИ) агрегатов и систем ТК;
- проведение автономных испытаний (АИ) агрегатов и систем ТК;
- проведение комплексных испытаний (КИ) ТК;
- применение ТК в летных испытаниях (ЛИ) изделия РКТ;
- корректировка документации по результатам проведения испытаний.

Разработка ТП — это такой этап создания ТК, на котором проводится предварительное определение технического облика комплекса, состава его ТО и систем, предварительное технико-экономическое обоснование выполняемых работ, разработка документов сквозного планирования, а также определение возможного состава предприятий-соисполнителей данных работ.

Как правило, разработка ТП, осуществляемая на конкурсной основе, проводится одновременно несколькими головными предприятиями-разработчиками в сотрудничестве с предприятиями-соисполнителями.

Головные предприятия-разработчики, в свою очередь, на начальном этапе разработки ТП проводят поисковые расчетно-теоретические и проектно-конструкторские работы (ПКР), обеспечивающие выбор и определение наиболее предпочтительного варианта проектного облика создаваемого ТК.

Как правило, этап разработки ТП начинается с анализа (согласования) ТЗ на создание ТК головного предприятия-разработчика и ИД предприятия-разработчика изделия РКТ, последующего проведения патентных исследований по основным агрегатам и системам ТК, а также с анализа соответствующих последних достижений отечественной и зарубежной науки и техники.

Результаты данных работ позволяют наиболее осознанно приступить к проведению многовариантных поисковых ПКР по агрегатам и системам ТК, а также по его структуре построения в целом. В данном случае поисковые ПКР выполняются на основе разных конструкторских решений и обеспечивают различные принципы и способы осуществления необходимых технологических процессов подготовки изделий РКТ на ТК.

При реализации работ такого вида можно укрупненно определить перечень ТО и строительных сооружений ТК, уточнить диапазон их возможных технических характеристик, а также выявить особенности проведения технологических процессов подготовки изделий РКТ на данном ТК.

Подобная организация выполнения начального этапа работ позволяет по результатам проведенных конструкторских проработок и укрупненного технико-экономического анализа возможных вариантов-альтернатив выбрать наиболее предпочтительный вариант проектного облика создаваемого ТК, отвечающий всем требованиям, заложенным

в ТЗ на создание ТК головного предприятия-разработчика и в ИД предприятия-разработчика изделия РКТ. В дальнейшем наиболее предпочтительный вариант проектного облика создаваемого ТК рекомендуется к более детальной проработке на соответствующем этапе ЭП.

На этапе разработки ЭП уточняются функциональные требования к ТО, агрегатам, сооружениям и техническим системам создаваемого ТК, а также к структуре построения ТК в целом, определяются взаимосвязи между наземным оборудованием и изделием РКТ, проводится предварительное технико-экономическое обоснование рекомендуемого варианта исполнения ТК, анализируется полнота обеспечения требований, изложенных в ТЗ, выполняются поверочные расчеты по основным видам ТО, разрабатываются предварительные программы обеспечения надежности и др. При необходимости, на данном этапе также могут быть проведены экспериментальные работы по моделированию отдельных технологических процессов на специальных макетах и моделях.

Один из главных результатов этапа ЭП ТК — оформление и выдача головным предприятием-разработчиком соответствующих ТЗ на проведение ПКР по всем агрегатам и системам создаваемого ТК кооперации смежных предприятий-соисполнителей. В частности, по выданным ТЗ предприятия-соисполнители осуществляют эскизное проектирование агрегатов и систем, а также разрабатывают рабочую конструкторскую документацию (КД).

Таким образом, на следующем этапе ЭП агрегатов и систем создаваемого ТК уточняются их принципиальные конструктивные решения, назначение, построение, основные параметры, устройство и принципы работы, а также обосновываются основные характеристики, технические и технологические решения, соответствующие требованиям создания ТК в целом.

Как правило, в разрабатываемых на этапе ЭП документах, например, в техническом описании, излагаются особенности функционирования и эффективность работы ТО ТК, приводятся уточненные оценки технико-экономических показателей, а также сведения об обеспечении заданных требований по надежности, воздействию на окружающую среду и др.

По итогам согласования кооперацией смежных предприятий-соисполнителей разработанных ими ЭП агрегатов и систем ТК, данные проекты, наряду с оформленными ранее соответствующими ТЗ, выступают основой при последующей разработке рабочей КД.

На этапе разработки проектно-конструкторской, рабочей конструкторской и ЭД, выполняемой на уровне микропроектирования, подготавливаются рабочие конструкторские и ЭД как на ТК в целом, так и на его отдельные агрегаты и системы. На данном этапе большое

внимание уделяется обеспечению требований, изложенных в соответствующих ГОСТах и в другой методической и научно-технической документации, а также вопросам обеспечения заданных в соответствующих ТЗ параметров разработанного ТО ТК как при его отработке на крупномасштабных моделях или стендах, так и при проведении необходимых испытаний всех видов.

Следует отметить, что для успешного проведения работ, выполняемых на этапах монтажа ТО ТК, его испытаний и последующей эксплуатации, а также в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56106–2023, в состав ЭД ТК включают технические описания, инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию, руководства по монтажу, формуляры, паспорта, инструкции по использованию запасных инструментов и принадлежностей, а также ряд других документов.

На этапе изготовления ТО и строительства сооружений, а также на этапах проведения ЗИ и АИ агрегатов и систем создаваемого ТК, осуществляется изготовление опытных образцов ТО и систем комплекса и их возможных макетов, а также проводятся строительно-монтажные работы на объекте планируемой эксплуатации. Проведение подобного вида работ обусловлено необходимостью наземной экспериментальной отработки ТО и систем создаваемого ТК, а также отработки оформленного ранее комплекта документации с его последующей возможной корректировкой. Как правило, выполнение данных работ осуществляется как на территории предприятий-изготовителей (в случае проведения ЗИ), так и на территории объекта планируемой эксплуатации (в случае проведения АИ), соответственно.

На этапах проведения КИ ТК и его последующего применения в ЛИ изделия РКТ основной целью является осуществление в условиях, максимально приближенных к реальным, наземной экспериментальной отработки ТО и систем ТК, их всесторонней проверки, а также подтверждение соблюдения требований и обеспечения характеристик, изложенных в ТЗ головного предприятия-разработчика ТК и в ТТЗ Государственного заказчика на создание соответствующего РКК.

При организации КИ проводятся многочисленные проверки, по результатам которых выявляют и фиксируют отказы, несоответствия требованиям и возможные дефекты с последующей (при необходимости) корректировкой документации. Данный этап завершается оформлением итогового отчета о проведении наземной экспериментальной отработки, выдачей заключения о завершении работ и последующим принятием решения о готовности ТК к применению в ЛИ изделия РКТ.

При применении ТК в ЛИ изделия РКТ осуществляется отработка оформленной ранее ЭД, и принимается решение о возможности последующей передачи комплекса в эксплуатацию.

Общее руководство проведением ЛИ изделия РКТ осуществляет Государственная комиссия, назначаемая постановлением Правительства РФ по представлению Государственного заказчика, согласованному ранее со всеми заинтересованными министерствами и ведомствами, а также с головным предприятием-разработчиком ТК. По итогам проведения ЛИ Государственная комиссия составляет заключение об их завершении и оформляет (при необходимости) акт-отчет с перечнем выявленных замечаний и недостатков, адресуя его всем соответствующим заинтересованным сторонам.

Применение ТК в ЛИ изделия РКТ может являться завершающим этапом проведения соответствующих НИР и ОКР, реализуемых в рамках выполнения работ по созданию комплекса, и непосредственно предшествовать передаче его в эксплуатацию.

Кроме того, возможным завершающим этапом создания ТК, выполняемым всеми представителями кооперации смежных предприятий-соисполнителей и головным предприятием-разработчиком ТК, может стать проведение корректировки КД для устранения замечаний, выявленных по результатам проведения ЗИ, АИ и КИ, а также по результатам применения ТК в ЛИ изделия РКТ, с последующим присвоением литер «О» и «О1» соответственно.

Следует отметить, что этап корректировки документации, проводимый (при необходимости) в соответствии с выявленными замечаниями, может быть реализован как по итогам проведения всех видов упомянутых ранее испытаний по отдельности, так и по итогам выполнения строительно-монтажных работ. В целях обеспечения требуемого качества документы всех видов, оформляемые в конце каждого из этапов создания ТК, также строго регламентируются и определяются в соответствии с требованиями ведомственной НТД.

Этап эксплуатации — один из важнейших этапов ЖЦ ТК, определяющий его целевое применение. В данном случае под эксплуатацией комплекса понимается временной интервал с момента завершения передачи предприятием-изготовителем эксплуатирующей организации ТО и систем ТК, с последующей постановкой на боевое дежурство и вводом в эксплуатацию комплекса в целом, до окончания его целевого применения, завершения эксплуатации и начала проведения работ по возможной утилизации/консервации.

Как правило, на этапе эксплуатации проявляются все основные свойства и характеристики ТК, а также проводятся следующие виды работ:

- постановка на боевое дежурство и ввод в эксплуатацию;
- эксплуатационное освоение;
- приведение и поддержание в готовности;
- штатная эксплуатация и использование по назначению;
- проведение работ по регламентному техническому обслуживанию (РТО) и хранение.

Этап утилизации/консервации может быть выделен в качестве отдельного этапа ЖЦ ТК, характеризующего окончание целевого применения и завершение эксплуатации ТК. На данном этапе возможно проведение следующих видов работ:

- снятие с боевого дежурства и вывод из эксплуатации;
- утилизация/консервация ТО и систем.

Выполнение указанных работ может быть обусловлено принятием решения либо об окончательном завершении эксплуатации и снятии ТК с боевого дежурства, либо о начале проведения работ по его дальнейшей возможной модернизации.

Исходя из анализа выявленных и указанных выше основных этапов ЖЦ ТК, а также с учетом многолетнего опыта создания и эксплуатации ТК, накопленного в профильных учреждениях отечественной РКО, разработана и предложена структура интегральных ОП технического уровня ТК, отражающая основные особенности и специфические показатели качества процессов, протекающих на данных этапах. Предложенная структура интегральных ОП технического уровня ТК приведена в табл. 1.

Таблица 1

Структура интегральных оценочных показателей технического уровня ТК

№	Этап ЖЦ ТК	Интегральный ОП ТУ ТК
1	НИР	Тактико-технический
		Экономический
		Временной
2	ОКР	Технологический
		Экономический
		Временной
3	Эксплуатация	Эксплуатационно-технический
		Надежность
		Выживаемость
		Экономический
		Временной
4	Утилизация/консервация	Надежность
		Выживаемость
		Экономический
		Временной

На этапе НИР формируется технический облик создаваемого ТК. Данный процесс обусловлен оформлением ТЗ на создание комплекса и ИД по изделию РКТ, определяющих и закладывающих основные качественные и количественные требования к создаваемому ТК. Этап

НИР может быть охарактеризован следующими интегральными ОП: тактико-технический, экономический и временной.

На этапе ОКР проводится уточнение и более детальная проработка выбранного ранее технического облика ТК. Указанный этап во многом определяет способность ТК к возможной модернизации с последующим развитием ТО и повышением требований, предъявляемых к ТК в целом. Данный этап может быть охарактеризован следующими интегральными ОП: технологический, экономический и временной.

Как было отмечено ранее, на этапах эксплуатации и последующей возможной утилизации/консервации проявляются все основные свойства и характеристики ТК, накапливается информация об особенностях функционирования комплекса и его ТО, выявляются и фиксируются отказы и возможные дефекты, возникающие в процессе штатной эксплуатации. По итогам полученной информации и накопленных статистических данных можно судить о способности ТК сохранять возможность обеспечения всех требований, предъявляемых к безотказной работе, а также к устойчивости работы ТО и систем ТК в условиях воздействия агрессивных факторов внешней среды, например, в условиях воздействия электромагнитных помех. Данные этапы могут быть охарактеризованы следующими интегральными ОП: эксплуатационно-техническим, надежностью, выживаемостью, экономическим и временным.

Следует отметить, что все рассмотренные этапы ЖЦ ТК связаны со стоимостными и временными характеристиками протекающих на них процессов, т. е. с экономическим и временным интегральными ОП соответственно. Необходимость и важность введения в качестве интегрального ОП фактора времени обусловлены тем, что создаваемый ТК может устареть еще до окончания процесса его разработки и последующего ввода в эксплуатацию.

Таким образом, число интегральных ОП равно 7, что вполне отвечает закону Дж. Миллера, согласно которому при использовании экспертных оценок число одновременно сравниваемых ОП не должно превышать значения 7 ± 2 .

Предложенная структура и состав интегральных ОП формируются из условия, что значения данных ОП известны или достаточно легко определимы. Следовательно, она не является окончательной и открыта к возможным уточнениям и дополнениям, связанным с решением конкретной (боевой) задачи.

Структура интегрального эксплуатационно-технического ОП технического уровня ТК. По причине того, что основные свойства и характеристики ТК проявляются на этапе его эксплуатации, включающем в себя ввод в эксплуатацию, период эксплуатационного освоения и последующую штатную эксплуатацию, предлагается рассмотреть структуру соответствующего эксплуатационно-технического интегрального ОП. При определении данного ОП могут быть учтены

и использованы соответствующие исследования и наработки, имеющиеся в отечественной РКО по данному направлению [15–18].

Показатель оперативности подготовки изделий РКТ на ТК. В связи со сложившимися тенденциями развития отечественной РКО, а также с нарастающими требованиями по количеству и интенсивности запусков изделий РКТ показатель оперативности подготовки является одним из наиболее важных как при создании новых ТК и их последующей эксплуатации, так и при возможной модернизации уже существующих. В данном случае оперативность подготовки изделия РКТ определяется временем, прошедшим с момента приема изделия на ТК космодрома и принятия соответствующего решения о начале работ по подготовке до передачи подготовленного изделия РКТ на следующий ТК (при необходимости) или транспортировки собранной ракеты космического назначения на стартовый комплекс. Следует отметить, что на продолжительность подготовки изделия РКТ на ТК космодрома наибольшее влияние оказывает конструктивная сложность самого изделия РКТ и, следовательно, объем необходимых к проведению предполетных испытаний, а также монтажно-стыковочных работ (МСР).

Таким образом, с целью проведения наиболее корректной количественной оценки показателя оперативности подготовки изделия РКТ на ТК ($P_{\text{опер}}$) принимается, что объем предполетных испытаний возрастает с увеличением «сухой» массы конструкции изделия РКТ, а продолжительность проведения МСР и последующей проверки вновь образованных связей определяется количеством стыкуемых между собой составных частей (СЧ) изделия РКТ.

Данный показатель характеризует возможность ТК обеспечить срочную наземную подготовку и последующий запуск изделия РКТ, имеющего решающее значение для обороны страны, а также изделия, запуск которого предусматривается в определенные «астрономические окна». Показатель $P_{\text{опер}}$ можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{опер}} = K_{\text{кон.сл}} \cdot \frac{1}{T_{\text{ТК}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{кон.сл}}$ — коэффициент, учитывающий конструктивную сложность изделия РКТ; $T_{\text{ТК}}$ — время подготовки изделия РКТ на ТК, ч.

Коэффициент $K_{\text{кон.сл}}$ можно представить так:

$$K_{\text{кон.сл}} = M_{\text{сух}} \cdot (1 + K_{\text{МСР}} \cdot (n - 1)), \quad (2)$$

где $M_{\text{сух}}$ — «сухая» масса изделия РКТ, т; $K_{\text{МСР}}$ — коэффициент, учитывающий увеличение времени подготовки изделия РКТ вследствие

проведения МСР с его СЧ; n — количество СЧ изделия РКТ, автономно поступающих на ТК и стыкуемых между собой ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Введение множителя $(1 + K_{\text{МСР}} \cdot (n - 1))$ в формулу (2) позволяет учитывать объективное увеличение времени подготовки изделия РКТ на ТК вследствие необходимости проведения МСР с его СЧ.

Принимая во внимание многолетний опыт создания и последующей эксплуатации ТК, а также с учетом анализа статистики по основным ТПП изделий РКТ на отечественных космодромах, значение коэффициента $K_{\text{МСР}}$ может быть принято равным $\sim 0,024$. Тогда выражение (1) примет вид

$$P_{\text{опер}} = M_{\text{сух}} \cdot (0,976 + 0,024n) \cdot \frac{1}{T_{\text{ТК}}}. \quad (3)$$

Показатель относительной производительности ТК. В данном случае под производительностью ТК космодрома понимается количество изделий РКТ, подготовку которых способен обеспечить данный ТК в заданную единицу времени, например, за один календарный год. Показатель относительной производительности ($P_{\text{пр}}$) характеризует способность ТК обеспечить надлежащее выполнение программы запусков изделий РКТ различного назначения. Его можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{пр}} = M_{\text{сух}} \cdot P_{\text{год}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{год}}$ — годовая производительность ТК космодрома, пуски/год, определяемая согласно выражению

$$P_{\text{год}} = A_{\text{РМ}} \cdot \left(\frac{(365 \cdot \varphi \cdot N_{\text{см}} \cdot N_{\text{ч}}) - \sum_{i=1}^n (P_{\text{ТО } i} \cdot T_{\text{ТО } i})}{T_{\text{РП}} + T_{\text{подг}} + T_{\text{отм}} + T_{\text{исх}}} \right). \quad (5)$$

Здесь $A_{\text{РМ}}$ — количество независимых рабочих мест (РМ) для подготовки изделия РКТ на ТК; φ — коэффициент учета выходных и праздничных дней ($0 < \varphi \leq 1$); $N_{\text{см}}$ — число рабочих смен в сутках; $N_{\text{ч}}$ — количество рабочих часов в смене; $P_{\text{ТО } i}$ — периодичность проведения i -го вида РТО ТО ТК, раз/год; $T_{\text{ТО } i}$ — продолжительность проведения i -го вида РТО ТО ТК, ч; $T_{\text{РП}}$ — продолжительность проведения предварительных регламентных проверок ТО ТК перед началом работ с изделием РКТ, ч; $T_{\text{подг}}$ — продолжительность подготовки изделия РКТ на ТК, ч; $T_{\text{отм}}$ — продолжительность проведения работ при отмене пуска, включая время нахождения ТК в готовности к повторному приему

изделия РКТ, ч; $T_{исх}$ — продолжительность приведения ТО ТК в исходное состояние, ч.

Следует отметить, что в случае, если ТПП изделия РКТ организован в соответствии с функциональным принципом построения ТК, т. е. подготовка изделия РКТ осуществляется на нескольких специализированных РМ (РМ приема изделия, РМ электроиспытаний, РМ МСР с ТО, обеспечивающим при необходимости сборку (разборку) изделия перед проведением КИ, РМ заправочно-нейтрализационной станции, РМ пневмовакуумных испытаний и др.), производительность ТК будет ограничена соответствующим РМ с минимальной пропускной способностью. Тогда выражение (4) примет вид

$$\Pi_{пр} = M_{сух} \cdot \min_k \left(A_{РМ} \cdot \left(\frac{(365 \cdot \varphi \cdot N_{см} \cdot N_{ч}) - \sum_{i=1}^n (P_{ТО\ i\ k} \cdot T_{ТО\ i\ k})}{T_{РП\ k} + T_{подг\ k} + T_{отм\ k} + T_{исх\ k}} \right) \right), \quad (6)$$

где k — индекс значения параметра для конкретного специализированного РМ для подготовки изделия РКТ на ТК.

Показатель условий подготовки изделий РКТ на ТК. Соблюдение строгих условий по подготовке изделия РКТ на ТК, предъявляемых Заказчиком (условий температурно-влажностного режима (ТВР), класса чистоты окружающего воздуха в рабочей зоне (РЗ) подготовки изделия, максимальных допустимых нагрузок на изделие при транспортировании и др.), — одно из главных требований, учитываемых при создании и последующей эксплуатации ТК космодронов.

Существенным аспектом, характеризующим ТК, является возможность обеспечить нахождение изделия РКТ в вертикальном положении на протяжении всего цикла наземной технологической подготовки. Следует отметить, что данная «вертикальная» технология имеет ряд значительных преимуществ, обусловленных прежде всего снижением изгибающих нагрузок на корпуса изделий РКТ (которые возникают при их транспортировании в пределах ТК), а также возможностью сокращения числа и объема проверок, проводимых на стартовом комплексе, что, как следствие, позволяет существенно повысить эффективность ТК, расширив спектр изделий РКТ, подготовка которых может быть обеспечена. В частности, в рамках выполнения коммерческих программ возможна реализация наземной подготовки и последующего запуска зарубежных КА, предусматривающих исключительно «вертикальную» технологию.

Показатель условий подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{усл}$), характеризующий возможность обеспечить вышеуказанные требования по подготовке изделия РКТ, может быть приведен в следующем виде:

$$\Pi_{\text{усл}} = a_1 \cdot \Pi_{\text{ТВР}} + a_2 \cdot \Pi_{\text{ЧВ}} + a_3 \cdot \Pi_{\text{ВП}}, \quad (7)$$

где a_1, a_2, a_3 — соответствующие весовые коэффициенты ($a_1 + a_2 + a_3 = 1$); $\Pi_{\text{ТВР}}$ — показатель условий ТВР на ТК; $\Pi_{\text{ЧВ}}$ — показатель условий чистоты окружающего воздуха в РЗ подготовки изделия РКТ на ТК; $\Pi_{\text{ВП}}$ — показатель возможности обеспечения «вертикальной» технологии подготовки изделия РКТ на ТК.

Основываясь на методе экспертных оценок, а также на многолетнем опыте создания и эксплуатации ТК, накопленном в профильных учреждениях отечественной РКО, для оценки показателя условий подготовки изделий РКТ на ТК принимаются следующие значения соответствующих весовых коэффициентов: $a_1 = 0,35$, $a_2 = 0,35$, $a_3 = 0,3$.

При оценке показателя условий ТВР ($\Pi_{\text{ТВР}}$) принят подход, при котором данный показатель тем выше, чем шире температурный диапазон, обеспечиваемый в РЗ подготовки изделия РКТ ТО ТК, а также чем выше точность поддержания заданной температуры. Данный показатель можно представить таким образом:

$$\Pi_{\text{ТВР}} = K_{\text{ТВР}} \cdot \frac{\Delta t}{\sigma}, \quad (8)$$

где $K_{\text{ТВР}}$ — коэффициент, введенный для достижения чувствительности показателя $\Pi_{\text{ТВР}}$ к изменению погрешности поддержания заданной температуры на РМ подготовки изделия РКТ на ТК ($K_{\text{ТВР}} = 0,2$); Δt — диапазон изменения значений температуры окружающего воздуха в РЗ подготовки изделия РКТ, обеспечиваемый ТО ТК, °С; σ — абсолютная погрешность поддержания заданной температуры окружающего воздуха в РЗ подготовки изделия РКТ, обеспечиваемой ТО ТК, °С.

Необходимо отметить, что при оценке показателя чистоты окружающего воздуха $\Pi_{\text{ЧВ}}$ уровень чистоты воздуха в РЗ подготовки изделия РКТ определяется в соответствии с ГОСТ ИСО 14644-1-2002, согласно которому чистота воздушной среды характеризуется классификационным числом $N_{\text{ИСО}}$: чем меньше данное классификационное число, тем выше уровень чистоты окружающей воздушной среды. Известные на сегодня ТК отечественных и зарубежных космодромов, как правило, способны обеспечивать следующие классы чистоты: 9 ИСО, 8 ИСО и 7 ИСО. Показатель $\Pi_{\text{ЧВ}}$ можно определить таким образом:

$$П_{\text{ЧВ}} = K_{\text{ЧВ}} \cdot \frac{1}{N_{\text{ИСО}}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{ЧВ}}$ — коэффициент, введенный для достижения чувствительности показателя $П_{\text{ЧВ}}$ к изменению класса чистоты окружающей воздушной среды на РМ подготовки изделия РКТ на ТК ($K_{\text{ЧВ}} = 8$); $N_{\text{ИСО}}$ — классификационное число класса чистоты окружающей воздушной среды, определяемое в соответствии с ГОСТ ИСО 14644-1-2002 ($1 \leq N_{\text{ИСО}} \leq 9$).

Следует учитывать, что возможность обеспечения «вертикальной» технологии подготовки изделия РКТ является качественной характеристикой ТК, количественно соответствующий показатель может быть определен как коэффициент охвата общего числа изделий РКТ, подготовку которых способен обеспечить данный ТК. При проведении количественной оценки показателя возможности обеспечения «вертикальной» технологии подготовки $П_{\text{ВП}}$ принимается допущение, что с учетом сложившихся тенденций развития отечественной РКО потенциальная доля изделий РКТ, предусматривающих проведение наземной подготовки исключительно в вертикальном положении, может достигнуть порядка 10 %, в частности, за счет наращивания темпов запусков КА, многие из которых будут предусматривать исключительно «вертикальную» технологию подготовки.

Таким образом, для оценки ТК по данному признаку предлагаются следующие значения показателя возможности обеспечения «вертикальной» технологии подготовки: $П_{\text{ВП}} = 0,9$ для ТК, не способных обеспечить «вертикальную» технологию подготовки изделий РКТ, и $П_{\text{ВП}} = 1$ для ТК, предусматривающих возможность проведения работ данного вида. Тогда выражение (7) примет вид

$$П_{\text{усл}} = 0,07 \cdot \frac{\Delta t}{\sigma} + 2,8 \cdot \frac{1}{N_{\text{ИСО}}} + 0,3 \cdot П_{\text{ВП}}. \quad (10)$$

Показатель относительной трудоемкости эксплуатации ТК. Определяющее влияние на стоимость ЖЦ ТК космодрома оказывает трудоемкость его эксплуатации, при этом ее уменьшение приводит к сокращению затрат, возникающих на соответствующих этапах ЖЦ ТК, а также повышению ТУ ТК в целом. Однако следует отметить, что с увеличением конструктивной сложности и массы изделий РКТ, подготовку которых способен обеспечить данный ТК, также возрастает и трудоемкость эксплуатации всего наземного ТО, необходимого для проведения работ данного вида. Показатель относительной трудоемкости эксплуатации ТК ($П_{\text{тр.экс}}$) характеризует зависимость трудоемкости

эксплуатации ТК от конструктивной сложности изделий РКТ, подготовку которых он призван обеспечивать. Данный показатель можно рассчитать по формуле

$$\Pi_{\text{тр.экс}} = \frac{K_{\text{изд}}}{D_{\text{РТО}} + \Pi_{\text{год}} \cdot D_{\text{ТП}}}, \quad (11)$$

где $K_{\text{изд}}$ — коэффициент, учитывающий влияние технических характеристик изделия РКТ на трудоемкость эксплуатации ТК; $D_{\text{РТО}}$ — годовая трудоемкость проведения РТО ТО и систем ТК, чел.-ч; $\Pi_{\text{год}}$ — годовая производительность ТК космодрома, пуски/год; $D_{\text{ТП}}$ — трудоемкость ТПП изделия РКТ на ТК, включая проведение предварительных проверок функционирования ТО и систем ТК перед началом подготовки изделия, а также последующее приведение в исходное состояние после выполнения данных работ, чел.-ч.

С учетом многолетнего опыта создания и последующей эксплуатации ТК, а также с целью достижения чувствительности показателя $\Pi_{\text{тр.экс}}$ к изменению, коэффициент $K_{\text{изд}}$ предлагается принять прямо пропорциональным массе конструкции изделия РКТ с соответствующим коэффициентом пропорциональности, равным $1,5 \cdot 10^5$. Тогда выражение (11) примет вид

$$\Pi_{\text{тр.экс}} = \frac{1,5 \cdot 10^5 \cdot M_{\text{сух}}}{D_{\text{РТО}} + \Pi_{\text{год}} \cdot D_{\text{ТП}}}. \quad (12)$$

Показатель безопасности подготовки изделий РКТ на ТК.

В данном случае под безопасностью подготовки изделий РКТ на ТК подразумевается отсутствие критичных событий, которые могут возникать при проведении наземной подготовки изделия. В свою очередь, под критичными событиями понимаются события, приводящие к нанесению тяжкого или несовместимого с жизнью вреда здоровью эксплуатирующего персонала (ЭП), а также события, вызывающие невосстанавливаемые повреждения изделия РКТ, ТО и систем ТК.

При определении показателя безопасности подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{\text{без}}$) принимаются следующие допущения:

- защита от воздействия общепромышленных факторов опасности (электробезопасность, пожаробезопасность и др.) обеспечивается на одинаково должном уровне на всех ТК без исключения;
- критичные события, связанные с воздействием специальных факторов (факторов опасности, обусловленных особенностями проведения наземной подготовки изделий РКТ), являются независимыми событиями.

В данном случае к специальным факторам могут быть отнесены наличие в баках изделий РКТ токсичных компонентов ракетного топлива (КРТ), содержание в составе изделий РКТ пиротехнических средств и химических источников тока, а также возможные ошибочные действия со стороны ЭП.

Показатель ($\Pi_{\text{без}}$), характеризующий вероятность отсутствия критичных событий, которые обусловлены воздействием специальных факторов при проведении наземной подготовки изделий РКТ на ТК, а также регламентных технических работ, можно выразить следующим образом:

$$\Pi_{\text{без}} = \Pi_{\omega}(1 - P_{\omega}), \quad (13)$$

где P_{ω} — вероятность возникновения критичного события, обусловленного воздействием ω -го специального фактора.

Необходимо отметить, что для уменьшения вероятности возникновения критичных событий, которые могут появиться при проведении наземной подготовки изделий РКТ, на ТК целесообразно предусмотреть специальные решения: наличие систем контроля содержания паров КРТ в воздухе РЗ, использование разъемов с уникальными типоразмерами для исключения ошибочных операций стыковки и пр.

Вероятность возникновения критичных событий (P_{ω}), обусловленных действием специальных факторов (без учета возможных ошибочных действий со стороны ЭП), описывается выражением

$$P_{\omega} = (1 - P_{\omega}^{\text{изд}}) \cdot (1 - P_{\omega}^{\text{ТК}}), \quad (14)$$

где $P_{\omega}^{\text{изд}}$ — вероятность безотказной работы систем и агрегатов изделия РКТ, обуславливающих воздействие ω -го специального фактора; $P_{\omega}^{\text{ТК}}$ — вероятность безотказной работы систем и агрегатов ТК, парящих отказ систем и агрегатов изделия РКТ, приводящих к критичному событию, обусловленному воздействием ω -го специального фактора.

Вероятность возникновения критичных событий ($P_{\text{ош}}$), обусловленных возможными ошибочными действиями со стороны ЭП, можно представить так:

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{ош}}^{\text{ЭП}} \cdot (1 - P_{\text{мер}}), \quad (15)$$

где $P_{\text{ош}}^{\text{ЭП}}$ — вероятность возможных ошибочных действий со стороны ЭП, обуславливающих воздействие ω -го специального фактора; $P_{\text{мер}}$ — вероятность эффективной работы организационно-технических мероприятий, направленных на исключение, а также парирование возможных ошибочных действий со стороны ЭП.

Тогда выражение (13) примет следующий вид:

$$П_{\text{без}} = \left(1 - P_{\text{ош}}^{\text{ЭП}} \cdot (1 - P_{\text{мер}})\right) \cdot П_{\omega} \left(1 - (1 - P_{\omega}^{\text{изд}}) \cdot (1 - P_{\omega}^{\text{ТК}})\right). \quad (16)$$

Показатель экологичности подготовки изделий РКТ на ТК. Немаловажную роль при создании и последующей эксплуатации ТК играет его способность обеспечивать соблюдение всех высоких требований и стандартов по экологической безопасности окружающей среды, предъявляемых как мировым сообществом, так и ответственными органами государственного контроля. Необходимо отметить, что особенно пристальное внимание к соблюдению данных требований и стандартов обусловлено применением в ряде современных изделий РКТ химически опасных и токсичных КРТ.

Показатель экологичности подготовки изделий РКТ на ТК ($П_{\text{эк}}$) характеризует степень соответствия ТК всем современным требованиям по обеспечению экологической безопасности окружающей среды, предъявляемым мировым сообществом и ответственными органами государственного контроля. Его можно выразить таким образом:

$$П_{\text{эк}} = a_1 \cdot П_{\text{ост КРТ}} + a_2 \cdot П_{\text{ут}} + a_3 \cdot П_{\text{прол КРТ}}, \quad (17)$$

где a_1, a_2, a_3 — соответствующие весовые коэффициенты ($a_1 + a_2 + a_3 = 1$); $П_{\text{ост КРТ}}$ — показатель массы остатков КРТ в баках и магистралях двигательных установок (ДУ) изделия РКТ при проведении технологических операций на ТК в случае отмены запуска изделия; $П_{\text{ут}}$ — показатель массы механических частей и жидкостей, подлежащих утилизации после завершения ТПП изделия РКТ на ТК; $П_{\text{прол КРТ}}$ — показатель массы проливов и выбросов КРТ при проведении технологических операций по заправке/сливу средств транспортирования КРТ с баз хранения на ТК.

Основываясь на методе экспертных оценок, а также на многолетнем опыте создания и эксплуатации ТК, накопленном в профильных учреждениях отечественной РКО, для оценки показателя экологичности подготовки изделий РКТ на ТК принимаются следующие значения соответствующих весовых коэффициентов: $a_1 = 0,34$, $a_2 = 0,33$, $a_3 = 0,33$.

Показатель массы остатков КРТ в баках и магистралях ДУ изделия РКТ при проведении технологических операций на ТК в случае отмены запуска изделия ($П_{\text{ост КРТ}}$) можно представить в виде

$$П_{\text{ост КРТ}} = \sum_{i=1}^n (M_{\text{ост.ок } i} + M_{\text{ост.гор } i}), \quad (18)$$

где $M_{\text{ост.ок } i}$ — масса остатков окислителя в баках и магистралях ДУ i -го блока изделия РКТ при проведении технологических операций на ТК в случае отмены запуска изделия, т; $M_{\text{ост.гор } i}$ — масса остатков горючего в баках и магистралях ДУ i -го блока изделия РКТ при проведении технологических операций на ТК в случае отмены запуска изделия, т.

Показатель массы механических частей и жидкостей, подлежащих утилизации после завершения ТПП изделия РКТ на ТК ($\Pi_{\text{ут}}$), можно записать следующим образом:

$$\Pi_{\text{ут}} = \sum_{i=1}^n (M_{\text{мех } i} + M_{\text{жид } i}), \quad (19)$$

где $M_{\text{мех } i}$ — масса механических частей, подлежащих утилизации после завершения ТПП i -го блока изделия РКТ на ТК, т; $M_{\text{жид } i}$ — масса жидкостей, подлежащих утилизации после завершения ТПП i -го блока изделия РКТ на ТК, т.

Показатель массы проливов и выбросов КРТ при проведении технологических операций по заправке/сливу средств транспортирования КРТ с баз хранения на ТК ($\Pi_{\text{прол КРТ}}$) можно определить выражением

$$\Pi_{\text{прол КРТ}} = \sum_{i=1}^n (M_{\text{прол } i} + M_{\text{выб } i}), \quad (20)$$

где $M_{\text{прол } i}$ — масса проливов КРТ при проведении i -й технологической операции по заправке/сливу средств транспортирования КРТ с баз хранения на ТК, т; $M_{\text{выб } i}$ — масса выбросов КРТ при проведении i -й технологической операции по заправке/сливу средств транспортирования КРТ с баз хранения на ТК, т.

Тогда выражение (17) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{эк}} = & 0,34 \left(\sum_{i=1}^n (M_{\text{ост.ок } i} + M_{\text{ост.гор } i}) \right) + \\ & + 0,33 \left(\sum_{i=1}^n (M_{\text{мех } i} + M_{\text{жид } i}) \right) + 0,33 \left(\sum_{i=1}^n (M_{\text{прол } i} + M_{\text{выб } i}) \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Определение показателя ТУ ТК космодромов для подготовки изделий РКТ. На основании вновь определенных и уже известных значений интегральных ОП, структура которых была рассмотрена ранее, может быть рассчитан показатель ТУ ТК космодромов ($\Pi_{\text{ТУ ТК}}$).

В общем случае показатель ТУ ТК предлагается определять в соответствии с методом «идеального центра», согласно которому этот показатель можно записать таким образом:

$$П_{ТУ\ ТК} = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{i\ ТК\ соз} - P_{i\ ТК\ ан})^2}, \quad (22)$$

где $P_{i\ ТК\ соз}$ — значение i -го интегрального ОП ТУ создаваемого ТК, нормированное в пределах от 0 до 1 включительно ($0 \leq P_{i\ ТК\ соз} \leq 1$); $P_{i\ ТК\ ан}$ — значение i -го интегрального ОП ТУ ТК, принятого за аналог, нормированное в пределах от 0 до 1 включительно ($0 \leq P_{i\ ТК\ ан} \leq 1$).

С целью наиболее наглядного представления полученных результатов, а также с целью повышения обоснованности управленческих и технических решений, принимаемых на всех стадиях проектирования, предлагается графическое представление показателя ТУ ТК, приведенное на рис. 3.

В данном случае показатель $П_{ТУ\ ТК}$ можно представить в виде многогранника, построенного на семи сходящихся лучах ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$), каждый из которых соответствует определенному интегральному ОП, структура которых была рассмотрена ранее. При этом, задавая условие нормирования данных в пределах от 0 до 1 включительно, все численные значения интегральных ОП можно представить в ограниченном масштабе, отложенном на соответствующих сходящихся лучах таким образом, как это показано на рис. 3.

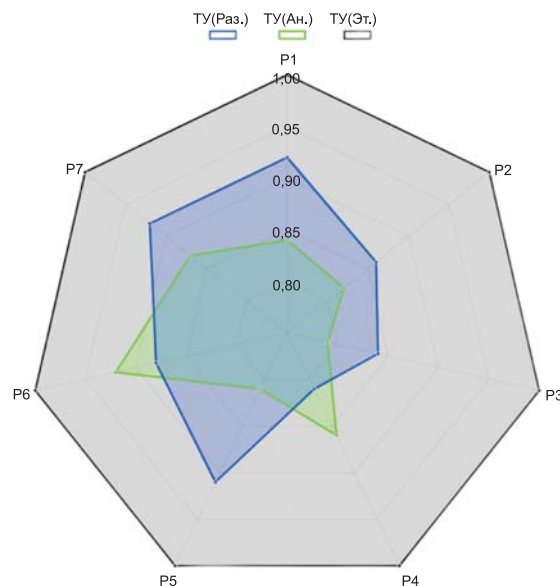


Рис. 3. Графическое представление показателя технического уровня ТК

При подобном способе графического представления полученных результатов выбор наиболее предпочтительного проектного облика создаваемого ТК из множества допустимых вариантов-альтернатив, представленных предприятиями-разработчиками на конкурсной основе, может быть осуществлен путем сравнения конкретных значений интегральных ОП ТУ создаваемого ТК с соответствующими значениями интегральных ОП ТК, принятого за аналог. Следует отметить, что в качестве ТК, принятого за аналог, может выступать как конкретный ТК, имеющийся в распоряжении отечественной РКО, так и эталонный ТК, соответствующий лучшим мировым практикам и инновационным направлениям развития и эксплуатации НКИ в целом.

Как следствие, в случае рассмотрения ТК, принятого за эталон, все численные значения его интегральных ОП предлагается принять равными 1. При этом исходя из условия одинаковой значимости и степени влияния его интегральных ОП, показатель ТУ данного ТК будет определен площадью соответствующего правильного семиугольника ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$). Таким образом, при проведении сравнительной оценки создаваемого ТК с ТК, принятым за эталон, будет справедливо соотношение

$$\Delta = \frac{P_{i\text{ТК соз}}}{P_{i\text{ТК эт}}}, \quad (23)$$

где $P_{i\text{ТК соз}}$ — значение i -го интегрального ОП ТУ создаваемого ТК, нормированное в пределах от 0 до 1 включительно ($0 \leq P_{i\text{ТК соз}} \leq 1$); $P_{i\text{ТК эт}}$ — единичное значение i -го интегрального ОП ТУ ТК, принятого за эталон ($P_{i\text{ТК эт}} = 1$).

Тогда при условии выполнения неравенства $P_{i\text{ТК соз}} < P_{i\text{ТК эт}}$ будет получена некая геометрическая фигура, вписанная в соответствующий правильный семиугольник ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$) и представляющая собой некое графическое выражение показателя ТУ создаваемого ТК. Данная геометрическая фигура будет также представлять собой семиугольник, ограниченный вершинами, каждая из которых соответствует конкретному численному значению интегрального ОП создаваемого ТК: $P_{1\text{ТК соз}}, P_{2\text{ТК соз}}, P_{3\text{ТК соз}}, P_{4\text{ТК соз}}, P_{5\text{ТК соз}}, P_{6\text{ТК соз}}, P_{7\text{ТК соз}}$.

По аналогии, в случае графического представления показателя ТУ ТК, уже имеющегося в распоряжении отечественной РКО и принятого за аналог, также будет иметь место соответствующий семиугольник, определяемый вершинами, соответствующими численным значениям его интегральных ОП: $P_{1\text{ТК ан}}, P_{2\text{ТК ан}}, P_{3\text{ТК ан}}, P_{4\text{ТК ан}}, P_{5\text{ТК ан}}, P_{6\text{ТК ан}}, P_{7\text{ТК ан}}$.

Таким образом, соотношение площадей построенных ранее геометрических фигур будет являться неким объективным показателем ТУ создаваемого ТК ($P_{\text{ТУ ТК}}$) и может быть представлено в следующем виде:

$$P_{\text{ТУ ТК}} = \frac{S_{\text{ТК соз}}}{S_{\text{ТК ан}(S_{\text{ТК эт}})}}, \quad (24)$$

где $S_{\text{ТК соз}}$ — площадь многоугольника, образованного нормированными в пределах от 0 до 1 включительно значениями i -х интегральных ОП ТУ создаваемого ТК; $S_{\text{ТК ан}}$ — площадь многоугольника, образованного нормированными в пределах от 0 до 1 включительно значениями i -х интегральных ОП ТУ ТК, принятого за аналог; $S_{\text{ТК эт}}$ — площадь принятого за эталон многоугольника, образованного единичными значениями i -х интегральных ОП ТУ ТК.

Иными словами, чем ближе площадь многоугольника, ограниченного значениями интегральных ОП создаваемого ТК, к площади принятого за аналог многоугольника, ограниченного значениями интегральных ОП ТК, тем ближе показатель ТУ создаваемого ТК к соответствующему показателю ТУ ТК-аналога.

Исходя из комбинаторного многообразия, следующего из выражения (24), с целью повышения обоснованности управленческих и технических решений, принимаемых на всех стадиях проектирования, предлагается оценочная шкала показателя ТУ ТК, представленная в табл. 2.

Таблица 2

Оценочная шкала показателя ТУ ТК в случае определения графическим способом

№	Пределы изменения значения показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$	Перспективность ТК
1	$P_{\text{ТУ ТК}} \gg 1$	Кратно лучше аналога
2	$P_{\text{ТУ ТК}} > 1$	Лучше аналога
3	$P_{\text{ТУ ТК}} \approx 1$	Находится на уровне аналога
4	$P_{\text{ТУ ТК}} < 1$	Хуже аналога
5	$P_{\text{ТУ ТК}} \ll 1$	Кратно хуже аналога

Таким образом с помощью предложенных аналитического и графического способов представления показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$, приведенных в выражениях (22) и (24) соответственно, Государственным заказчиком в лице ГК «Роскосмос», МО РФ, РАН и ряда других компетентных

организаций может быть осуществлен выбор наиболее предпочтительного проектного облика создаваемого ТК из множества допустимых вариантов-альтернатив, представленных предприятиями-разработчиками на конкурсной основе.

Однако следует отметить, что предложенные в выражениях (22) и (24) подходы по аналитической и графической формам записи показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$ справедливы только при выполнении условия одинаковой значимости и степени влияния всех его интегральных ОП, которые на практике могут также иметь различный вес, обусловленный решением конкретной (боевой) задачи.

С целью решения данной проблемы, а также с учетом многолетнего опыта, накопленного в профильных учреждениях отечественной РКО, каждому интегральному ОП технического уровня ТК с помощью экспертного опроса компетентных в данной области специалистов могут быть назначены соответствующие весовые коэффициенты. Таким образом, показатель ТУ создаваемого ТК можно рассчитать как средневзвешенное гармоническое по формуле

$$P_{\text{ТУ ТК}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{P_i}}, \quad (25)$$

где a_i — соответствующий весовой коэффициент i -го интегрального ОП ТУ ТК ($a_1 + a_2 + \dots + a_i = 1$); P_i — значение i -го интегрального ОП ТУ создаваемого ТК, нормированное в пределах от 0 до 1 включительно ($0 \leq P_{i \text{ ТК соз}} \leq 1$).

В случае определения показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$ аналитическим способом, приведенным в выражении (25) и подразумевающим назначение соответствующих весовых коэффициентов, для повышения обоснованности управленческих и технических решений, принимаемых на всех стадиях проектирования, предлагается оценочная шкала, представленная в табл. 3.

Таблица 3

Оценочная шкала показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$ в случае определения аналитическим способом

№	Пределы изменения значения показателя $P_{\text{ТУ ТК}}$	Перспективность ТК
1	0,80–1,0	Весьма перспективен
2	0,60–0,79	Перспективен
3	0,40–0,59	Малоперспективен
4	0,20–0,39	Неперспективен

Причем приведенные в табл. 3 пределы изменения значения показателя ТУ ТК получены из условия, что показатель ТУ ТК, принятого за эталон, имеет соответствующее значение, равное единице.

Таким образом, при проведении сравнительной оценки и последующем выборе наиболее предпочтительного проектного облика создаваемого ТК Государственный заказчик сможет принимать то или иное решение, руководствуясь результатами определения показателя ТУ ТК, полученными аналитическим путем согласно выражению (25). Одновременно с этим графическая форма записи данного показателя сможет выступать в качестве дополнительного и наиболее наглядного способа представления полученных результатов.

Проведение сравнительной оценки ТУ ТК космодромов для подготовки изделий РКТ. В качестве примера практического применения предложенного методического подхода к оценке качества и эффективности создания ТК космодромов для подготовки изделий РКТ может быть проведен сравнительный анализ ТУ ТК одного целевого назначения, находящихся в эксплуатации в отечественной РКО в настоящее время. В частности, для проведения сравнительной оценки предлагается выбрать созданные ранее на космодромах «Плесецк» и «Байконур» ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон» соответственно.

На основе имеющихся статистических данных, а также с учетом многолетнего опыта создания и эксплуатации ТК, накопленного в профильных учреждениях отечественной РКО, при оценке ТУ ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон» предлагаются следующие значения их ОП, входящих в структуру рассмотренного ранее эксплуатационно-технического интегрального ОП, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Значения ОП, входящих в структуру эксплуатационно-технического интегрального ОП ТУ ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон»

№	Наименование ОП	ТК РН «Ангара»	ТК РН «Протон»
1	Показатель оперативности подготовки изделий РКТ на ТК ($P_{\text{опер}}$)	0,838	1,209
2	Показатель относительной производительности ТК ($P_{\text{пр}}$)	1,134	0,99
3	Показатель условий подготовки изделий РКТ на ТК ($P_{\text{усл}}$)	0,841	0,841
4	Показатель относительной трудоемкости эксплуатации ТК ($P_{\text{тр.эк}}$)	5,961	9,5
5	Показатель безопасности подготовки изделий РКТ на ТК ($P_{\text{без}}$)	0,998	0,999
6	Показатель экологичности подготовки изделий РКТ на ТК ($P_{\text{эк}}$)	0,531	1,595

С целью проведения наиболее корректной сравнительной оценки, а также учета степени влияния того или иного ОП на показатель ТУ ТК в целом могут быть получены значения относительных оценочных показателей ТУ ТК. В данном случае значения относительных ОП ($\Pi_{i \text{ отн}}$) определяются частным эталонного и текущего значений ОП сравниваемых ТК:

$$\Pi_{i \text{ отн}} = \frac{\Pi_{i \text{ ТК}}}{\Pi_{i \text{ эт.ТК}}}, \quad (26)$$

где $\Pi_{i \text{ ТК}}$ — значение i -го ОП ТУ сравниваемого ТК; $\Pi_{i \text{ эт.ТК}}$ — эталонное значение i -го ОП ТУ сравниваемого ТК;

2) если повышению ТУ ТК соответствует уменьшение рассматриваемого ОП, то относительное значение данного показателя можно записать так:

$$\Pi_{i \text{ отн}} = \frac{\Pi_{i \text{ эт.ТК}}}{\Pi_{i \text{ ТК}}}. \quad (27)$$

Таким образом, в соответствии с выражениями (26) и (27) могут быть определены значения относительных ОП, входящих в структуру эксплуатационно-технического интегрального ОП ТУ ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон» (табл. 5).

Таблица 5

Значения относительных ОП, входящих в структуру эксплуатационно-технического интегрального ОП ТУ ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон»

№	Показатель относительной ОП	ТК РН «Ангара»	ТК РН «Протон»
1	Показатель оперативности подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{\text{опер}}$)	0,693	1
2	Показатель относительной производительности ТК ($\Pi_{\text{пр}}$)	1	0,873
3	Показатель условий подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{\text{усл}}$)	1	1
4	Показатель относительной трудоемкости эксплуатации ТК ($\Pi_{\text{тр.экс}}$)	0,627	1
5	Показатель безопасности подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{\text{без}}$)	0,999	1
6	Показатель экологичности подготовки изделий РКТ на ТК ($\Pi_{\text{эк}}$)	1	0,332

На основе рассчитанных значений относительных ОП, приведенных в табл. 5, а также согласно выражению (25), может быть определен показатель ТУ ТК, рассчитанный на основании эксплуатационно-технического интегрального ОП. В данном случае показатель ТУ ТК может быть записан в следующем виде:

$$П_{ТУ\ ТК} = \frac{1}{\left(\frac{a_1}{П_{опер}} + \frac{a_2}{П_{пр}} + \frac{a_3}{П_{усл}} + \frac{a_4}{П_{тр.экс}} + \frac{a_5}{П_{без}} + \frac{a_6}{П_{эк}} \right)}, \quad (28)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ — соответствующие весовые коэффициенты ($a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 = 1$).

Основываясь на методе экспертных оценок, а также на многолетнем опыте создания и эксплуатации ТК, накопленном в профильных учреждениях отечественной РКО, для оценки показателя ТУ ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон» принимаются следующие значения соответствующих весовых коэффициентов: $a_1 = 0,2$, $a_2 = 0,15$, $a_3 = 0,05$, $a_4 = 0,2$, $a_5 = 0,2$, $a_6 = 0,2$.

Таким образом, для проведения последующего сравнительного анализа в соответствии с выражением (28) может быть определен и записан показатель ТУ рассматриваемых ТК РН «Ангара» и ТК РН «Протон»:

1) в случае рассмотрения ТК РН «Ангара», показатель ТУ

$$\begin{aligned} П_{ТУ\ ТК\ РН\ «Ангара»} &= \frac{1}{\left(\frac{0,2}{0,693} + \frac{0,15}{1} + \frac{0,05}{1} + \frac{0,2}{0,627} + \frac{0,2}{0,999} + \frac{0,2}{1} \right)} = \\ &= \frac{1}{1,207} = 0,828; \end{aligned} \quad (29)$$

2) в случае рассмотрения ТК РН «Протон», показатель ТУ

$$\begin{aligned} П_{ТУ\ ТК\ РН\ «Протон»} &= \frac{1}{\left(\frac{0,2}{1} + \frac{0,15}{0,873} + \frac{0,05}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{0,332} \right)} = \\ &= \frac{1}{1,424} = 0,702. \end{aligned} \quad (30)$$

В результате проведенной сравнительной оценки, показатель ТУ ТК РН «Ангара», рассчитанный на основании эксплуатационно-технического интегрального ОП, оказался существенно выше соответствующего рассчитанного показателя ТУ ТК РН «Протон». В частности, в соответствии с предложенной оценочной шкалой (см.

табл. 3) можно заключить, что созданный на космодроме «Плесецк» ТК РН «Ангара» имеет весьма перспективный характер.

Необходимо отметить, что достоверность результатов, полученных по итогам проведения сравнительной оценки, а также предложенного методического подхода в целом, подтверждается многолетним опытом эксплуатации данных ТК, накопленным в профильных учреждениях отечественной РКО.

Заключение. Предложен методический подход к оценке качества и эффективности создания ТК космодромов для подготовки изделий РКТ, способный учитывать специфику широкого спектра решаемых ими функциональных задач, а также отражать полноту их возможных технических характеристик. Применение данного подхода позволит Государственному заказчику в лице ГК «Роскосмос», МО РФ, РАН и ряда других компетентных организаций наиболее обоснованно подходить к выбору наилучшего предложения по проектному облику ТК из множества допустимых вариантов-альтернатив, представляемых предприятиями-разработчиками на конкурсной основе. Предложенный подход имеет универсальный характер по отношению к рассматриваемым ТК одного целевого назначения и, как следствие, может быть учтен и положен в основу методической документации и НТД головных предприятий-разработчиков в области создания объектов НКИ, а также может быть использован при выработке и определении концепции дальнейшего развития НКИ отечественных космодромов «Восточный», «Плесецк» и «Байконур» [19–21].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бармин И.В., ред. *Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники (инженерное пособие)*. В 3 кн. Москва, Полиграфикс РПК, 2005–2012.
- [2] Бирюков Г.П., Смирнов В.И. *Элементы теории проектирования ракетно-космических комплексов*. Москва, Изд-во МАИ, 2003, 288 с.
- [3] Бирюков Г.П., Кобелев В.Н. *Основы построения ракетно-космических комплексов*. Москва, Изд-во МАИ, 2000, 293 с.
- [4] Александров А.А., Бармин И.В., Денисов О.Е., Чугунков В.В. Инновационные направления в развитии и эксплуатации наземной космической инфраструктуры технических комплексов космодромов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, вып. 5 (77). DOI: 10.18698/2308-6033-2018-5-1765
- [5] Цветков В.Я. Сложные технические системы. *Образовательные ресурсы и технологии*, 2017, № 3 (20), с. 86–92.
- [6] Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем. *Перспективы науки и образования*, 2014, № 1, с. 38–43.
- [7] Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В. *Методы и модели принятия технических решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем*. Москва, Ленард, 2020, 520 с.
- [8] Семенов С.С. *Оценка качества и технического уровня сложных систем: практика применения метода экспертных оценок*. Москва, Ленард, 2019, 352 с.

- [9] Севастьянов С.И. Основные принципы в оценке технического уровня сложных технических систем. *Техника средств связи*, 2022, № 4 (160), с. 31–44.
- [10] Семенов С.С. Вопросы оценки технического уровня сложных технических систем для создания образцов вооружения и военной техники опережающего уровня. *Авиационные системы*, 2021, № 12, с. 4–10.
- [11] Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнова Т.Т. Применение комплексного показателя технического уровня и его основных составляющих для выбора лучшего изделия. *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России»*, 2020, № 1, с. 60–68.
- [12] Скрипник И.Л., Воронин С.В. Обоснование размерности комплексного показателя технического уровня и его графическое представление. *Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)*, 2017, № 4 (24), с. 23–27.
- [13] Воронов Е.М., Щербинин В.В., Семенов С.С. К оценке технического уровня сложных технических систем с учетом полного жизненного цикла. *Онтология проектирования*, 2016, т. 6, № 2 (20), с. 173–192.
- [14] Исаев В.Г. О методическом подходе к оценке технического уровня агрегатов и систем космических ракетных комплексов. *Информационно-технологический вестник*, 2015, № 2 (4), с. 106–111.
- [15] Гераськин А.М., Каширин А.Д. Методический подход к оценке технического уровня технических комплексов подготовки изделий ракетно-космической техники. *Космонавтика и ракетостроение*, 2016, № 5 (90), с. 5–13.
- [16] Кулешов А.В., Прокопчик Н.Г., Богомолов А.А., Абросимов Н.А. Методический подход к оценке технического уровня универсальных стартовых комплексов ракет космического назначения с использованием обобщенного показателя. *Вестник Самарского университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета)*, 2010, № 2 (22), с. 198–204.
- [17] Шатров Я.Т., Агапов И.В., Болысов А.И., Полуаршинов А.М., Самброс В.В. Оценка степени решения экологических проблем при реализации федеральной космической программы на период 2006–2015 гг. *Двойные технологии*, 2006, № 3, с. 8–16.
- [18] Шатров Я.Т., Болысов А.И. Методический подход к формированию и оценке обобщенного показателя экологичности космических ракетных комплексов и их составных частей. *Двойные технологии*, 2006, № 3, с. 17–24.
- [19] Левченко И.Ф., Болысов А.И., Фадеев А.С., Жителев А.А. *Космодромы мира: история, состояние и перспективы*. Москва, Изд-во «РЕСТАРТ», 2012, 312 с.
- [20] Башлаков А.А. ред. *Северный космодром России*. В 2 т. Мирный: космодром «Плесецк», ООО ПФ «Полиграф-Книга», 2007.
- [21] Сорокин А.Я. *Байконур: международный космический порт: книга-альбом*. Караганда, Гласир, 2010, 209 с.

Статья поступила в редакцию 30.06.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Синельщиков А.В., Драгун Д.К., Козьмин В.В. Методический подход к оценке качества и эффективности создания технических комплексов космодромов для подготовки изделий ракетно-космической техники. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2026, вып. 4. EDN XSVIYQ

Синельщиков Артем Викторович — аспирант 3-го курса обучения кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана; автор более 15 научных работ в области ракетно-космической техники.
e-mail: Sinelshchikov.AV@mail.ru

Драгун Дмитрий Константинович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана; главный специалист по производственно-экономическим вопросам АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»; вице-президент (исполнительный директор) МОО «Российская академия космонавтики имени К.Э. Циолковского», лауреат Государственной премии РФ, ордена «За заслуги перед Отечеством» IV степени, ордена «Трудового Красного Знамени» и ордена «Почета»; автор более 150 научных работ в области ракетно-космической техники. e-mail: DragunDK@mail.ru

Козьмин Владимир Владимирович — главный специалист по созданию технических комплексов космодромов АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», почетный член МОО «Российская академия космонавтики имени К.Э. Циолковского», заслуженный испытатель космической техники, лауреат ордена «Почета» и ордена «Дружбы», отмечен различными ведомственными наградами и грамотами. Автор более 50 научных работ в области ракетно-космической техники.
e-mail: V.Kozmin1950@yandex.ru

Methodological Approach to Assessing Quality and Efficiency in Creation of the Spaceport Technical Complexes for Preparation of the Rocket and Space Technology Systems

© A.V. Sinelshchikov¹, D.K. Dragun^{1,2}, V.V. Kozmin²

¹ Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, 105005, Russian Federation

² JSC Khrunichev State Research and Production Space Center,
Moscow, 121309, Russian Federation

The paper considers the problems in constructing and qualitatively assessing the spaceport technical complexes that are engaged to ensure ground preparation of the rocket and space technology systems. They are representing sophisticated technical systems characterized by complex construction structure, ability to provide solution to a wide range of functional problems, as well as by a complex parametric image that includes a large number of the technical characteristics. The paper proposes a methodical approach to assessing quality and efficiency in creating the spaceport technical complexes capable of taking into account specifics of a wide range of functional problems solved by them, and also reflecting completeness of their technical characteristics. As the main assessment criterion, it proposes to apply the technical level indicator, which is the most important generally accepted quality characteristic of the complex technical systems development for both the military and civilian purposes. The indicator is a generalized characteristic of the physical properties, capabilities and degree of technical novelty of a system under consideration. The paper proposes and substantiates structure of the integral evaluation indicators characterizing technical level of the spaceport technical complexes, and establishes its relationship with the main stages of their life. Each of them is characterized by its own specific indicators and quality criteria for the ongoing processes, and corresponds to the specific tasks. Application of the proposed approach would improve the validity of the management and technical decisions taken at all stages of creating the spaceport technical complexes, and would also make it possible to solve the problem of selecting the most preferable design appearance of a technical complex from a variety of the acceptable alternative options.

Keywords: rocket and space systems, spaceport, ground-based space infrastructure, technical complex, technological equipment, complex technical system, quality, efficiency, life cycle, assessment indicator, technical level

REFERENCES

- [1] Barmin I.V., ed. *Tekhnologicheskie obyekty nazemnoy infrastruktury raketno-kosmicheskoy tekhniki (inzhenernoe posobie)* [Technological objects of ground infrastructure of the rocket and space technology (engineering manual)]. In 3 books. Moscow, Poligrafiks RPK Publ., 2005–2012.
- [2] Biryukov G.P., Smirnov V.I. *Elementy teorii proektirovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov* [Elements of the theory of designing rocket and space complexes]. Moscow, MAI Publ., 2003, 288 p.
- [3] Biryukov G.P., Kobelev V.N. *Osnovy postroeniya raketno-kosmicheskikh kompleksov* [Fundamentals of construction of the rocket and space complexes]. Moscow, MAI Publ., 2000, 293 p.

- [4] Aleksandrov A.A., Barmin I.V., Denisov O.E., Chugunkov V.V. Innovatsionnye napravleniya v razviti i ekspluatatsii nazemnoy kosmicheskoy infrastruktury tekhnicheskikh kompleksov kosmodromov [Innovative trends in the development and operation of space ground-based infrastructure at technical areas of cosmodromes]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2018, iss. 5 (77). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2018-5-1765>
- [5] Tsvetkov V.Y. Slozhnye tekhnicheskie sistemy [Complex technical systems]. *Obrazovatelnye resursy i tekhnologii — Educational Resources and Technologies*, 2017, no. 3 (20), pp. 86–92.
- [6] Kudzh S.A. Mnogoaspektnost rassmotreniya slozhnykh sistem [Multidimensionality consideration of complex systems]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya — Perspectives of Science and Education*, 2014, no. 1, pp. 38–43.
- [7] Semenov S.S., Voronov E.M., Poltavskiy A.V., Kryanev A.V. *Metody i modeli prinyatiya tekhnicheskikh resheniy v zadachakh otsenki kachestva i tekhnicheskogo urovnya slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Methods and models of making technical decisions in problems of assessing the quality and technical level of complex technical systems]. Moscow, LENARD Publ., 2020, 520 p.
- [8] Semenov S.S. *Otsenka kachestva i tekhnicheskogo urovnya slozhnykh sistem: praktika primeneniya metoda ekspertnykh otsenok* [Assessment of the quality and technical level of complex systems: the practice of applying the expert assessment method]. Moscow, LENARD Publ., 2019, 352 p.
- [9] Sevastyanov S.I. Osnovnye printsipy v otsenke tekhnicheskogo urovnya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Basic principles in assessing the technical level of complex technical systems]. *Tekhnika sredstv svyazi — Means of Communication Equipment*, 2022, no. 4 (160), pp. 31–44.
- [10] Semenov S.S. Voprosy otsenki tekhnicheskogo urovnya slozhnykh tekhnicheskikh sistem dlia sozdaniya obraztsov vooruzheniya i voennoy tekhniki operzhayushchego urovnya [Issues of assessing technical level of the complex technical systems for creation of the advanced weapons and military equipment]. *Aviatsionnye sistemy — Aviation systems*, 2021, no. 12, pp. 4–10.
- [11] Skripnik I.L., Voronin S.V., Kaverzniva T.T. Primenenie kompleksnogo pokazatelya tekhnicheskogo urovnya i ego osnovnykh sostavlyayushchikh dlya vybora luchshego izdeliya [The use of a comprehensive indicator of the technical level and its main components to select the best product]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii" — Scientific and analytical journal "Vestnik Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia"*, 2020, no. 1, pp. 60–68.
- [12] Skripnik I.L., Voronin S.V. Obosnovanie razmernosti kompleksnogo pokazatelya tekhnicheskogo urovnya i ego graficheskoe predstavlenie [Justification the dimension of the complex indicator of a technical level and its graphical representation]. *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) — Natural and Technological Risks (Physics-Mathematical and Applied Aspects)*, 2017, no. 4 (24), pp. 23–27.
- [13] Voronov E.M., Shcherbinin V.V., Semenov S.S. K otsenke tekhnicheskogo urovnya slozhnykh tekhnicheskikh sistem s uchetom polnogo zhiznennogo tsikla [To the assessment of technical level complex technical systems taking into account the whole life cycle]. *Ontologiya proektirovaniya — Ontology of Designing*, 2016, vol. 6, no. 2 (20), pp. 173–192.
- [14] Isaev V.G. O metodicheskoy podkhode k otsenke tekhnicheskogo urovnya agregatov i sistem kosmicheskikh raketnykh kompleksov [On a methodical approach to assessing the technical level of units and systems of the space rocket complexes]. *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik — Information Technology Vestnik*, 2015, no. 2 (4), pp. 106–111.

- [15] Geraskin A.M., Kashirin A.D. Metodicheskiy podkhod k otsenke tekhnicheskogo urovnya tekhnicheskikh kompleksov podgotovki izdeliy raketno-kosmicheskoy tekhniki [Methodological approach to assessing the technical level of technical complexes for the preparation of rocket and space technology products]. *Kosmonavtika i raketostroyeniye — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2016, no. 5 (90), pp. 5–13.
- [16] Kuleshov A.V., Prokopchik N.G., Bogomolov A.A., Abrosimov N.A. Metodicheskiy podkhod k otsenke tekhnicheskogo urovnya universalnykh startovnykh kompleksov raket kosmicheskogo naznacheniya s ispolzovaniem obobshchennogo pokazatelya [Technical approach for estimation of engineering level of universal launch complexes with use of overall parameter. 14 TSNII the Russian Federation]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva (natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta) — Vestnik of Samara State University*, 2010, no. 2 (22), pp. 198–204.
- [17] Shatrov Y.T., Agapov I.V., Bolysov A.I., Poluarshinov A.M., Sambros V.V. Otsenka stepeni resheniya ekologicheskikh problem pri realizatsii federalnoy kosmicheskoy programmy na period 2006–2015 gg. [Assessment of the degree of resolution of environmental problems during implementation of the federal space program for the period 2006–2015]. *Dvoynye tekhnologii*, 2006, no. 3, pp. 8–16.
- [18] Shatrov Y.T., Bolysov A.I. Metodicheskiy podkhod k formirovaniyu i otsenke obobshchennogo pokazatelya ekologichnosti kosmicheskikh raketnykh kompleksov i ikh sostavnykh chastey [Methodological approach to formation and assessment of a generalized indicator of environmental friendliness of the space rocket complexes and their components]. *Dvoynye tekhnologii*, 2006, no. 3, pp. 17–24.
- [19] Levchenko I.F., Bolysov A.I., Fadeev A.S., Zhitelev A.A. *Kosmodromy mira: istoriya, sostoyaniye i perspektivy* [Cosmodromes of the world: history, status and prospects]. Moscow, “RESTART” Publ., 2012, 312 p.
- [20] Bashlakov A.A. red. *Severnyi kosmodrom Rossii* [The northern cosmodrome of Russia]. In 2 vols. Mirnyi: spaceport Plesetsk, OOO PF “Poligraf-Kniga” Publ., 2007.
- [21] Sorokin A.Y. *Baikonur: mezhdunarodnyi kosmicheskii port: kniga-albom* [Baikonur: international spaceport: book-album]. Karaganda, Glasir Publ., 2010, 209 p.

Sinelshchikov A.V., Postgraduate, Department of Rocket Launch Complexes, Bauman Moscow State Technical University; author of more than 15 scientific papers in the rocket and space technology. e-mail: Sinelshchikov.AV@mail.ru

Dragun D.K., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Rocket Launch Complexes, Bauman Moscow State Technical University; Chief Specialist for Production and Economic Issues of JSC Khrunichev State Research and Production Space Center; Vice President (Chief Executive Officer), IPO “Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky”; Laureate of the State Prize of the Russian Federation; Bearer of the Orders of “For Merit to the Fatherland of the 4th degree”, “Red Banner of Labor” and “Honor”; author of more than 150 scientific papers in the rocket and space technology. e-mail: DragunDK@mail.ru

Kozmin V.V., Chief Specialist in creating the spaceport technical complexes, JSC Khrunichev State Research and Production Space Center; Honorary Member of the IPO “Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky”, Honored Tester of Space Technology; Bearer of the Orders of “Honor” and “Friendship”; author of a number scientific papers in the rocket and space technology. e-mail: V.Kozmin1950@yandex.ru