

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОСНОСОВА
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Коротеева Анастасия Анатольевна

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ СТРАХОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Специальность: 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
кандидат экономических наук, доцент
Эченикэ В.Х.

Москва - 2021

Оглавление

Введение.....	3
ГЛАВА 1. Страхование в ракетно-космической промышленности	15
1.1. Роль страхования в развитии ракетно-космической отрасли	15
1.2. История развития рынка страхования космических рисков	17
1.3. Динамика аварийности космических запусков	19
1.4. Современные тенденции развития мирового рынка страхования космических рисков.....	24
1.5. Особенности отечественного рынка страхования космических рисков.....	32
ГЛАВА 2. Специфика страхования рисков ракетно-космической отрасли....	41
2.1. Риски, связанные с реализацией космического проекта	41
2.2. Управление рисками космических проектов, специфические особенности их оценки.....	74
2.3. Подходы к оценке рисков космических проектов	78
ГЛАВА 3. Концептуальные основы оценки рисков при страховании космических летательных аппаратов нового поколения	83
3.1. Инновации ракетно-космической отрасли РФ	83
3.2. Особенности космических транспортных модулей нового поколения	84
3.3. Возмещение ущерба, причиненного космической деятельностью, и обеспечение радиационной безопасности при использовании ядерной энергетики в космосе	91
3.4. Статистика запусков и аварий космических аппаратов с ядерными энергетическими установками и радиоизотопными генераторами.....	96
3.5. Оценка рисков при страховании запусков космических аппаратов....	100
3.5.1. Оценка риска ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц при аварийных запусках перспективных космических аппаратов	100
3.5.2. Оценка риска причинения ущерба имуществу при потере космического аппарата, выводимого ракетой-носителем нового поколения	111
3.5.3. Оценка надежности ключевых элементов и систем транспортных космических модулей нового поколения	121
Заключение	140
Список литературы:	145
Приложения	159

Введение

Актуальность исследования

Состоявшиеся в 50-х- 60-х годах XX века запуски первых космических аппаратов, а также полет человека в космос явились событиями, ознаменовавшими начало новой эры не только в развитии науки, техники, экономики, но и межгосударственных отношений. Уровень совершенства ракетно-космической отрасли является одним из важнейших показателей развития и стратегического потенциала страны. Особая роль отводилась ракетной технике в период гонки вооружений и создания ядерного щита высокоразвитых государств. В настоящее время значительная часть продукции отрасли имеет двойное назначение. Космические аппараты (КА) и системные модули могут применяться для решения задач исключительно широкого диапазона от обеспечения разнообразных потребностей рынка гражданской продукции до создания самых современных и эффективных видов оружия.

Российская модель развития ракетно-космической отрасли во многом основана на государственном финансировании программ космических исследований и на государственном оборонном заказе. Большинство структурообразующих объектов отрасли остаются государственными и финансируются за счет бюджетных средств. Наряду с этим в последнее время обращает на себя внимание рост интереса частных инвесторов к развитию космических технологий. Несмотря на это, в большинстве случаев финансовая нагрузка, связанная с компенсацией убытков от неудачной реализации того или иного космического проекта, приходится на федеральный бюджет, обуславливая весомые финансовые риски. В этой связи особая роль в современной ракетно-космической деятельности отводится процессам риск-менеджмента, направленным на минимизацию финансовых потерь исполнителя и заказчика работ от нештатных ситуаций на любом из этапов жизненного цикла космического аппарата. Применяемые при создании КА технические, технологические и иные решения, как правило, определяют высокую стоимость

космических запусков, поэтому одним из наиболее эффективных методов управления рисками является страхование.

На сегодняшний день перед российским сегментом рынка страхования рисков космической деятельности стоят две непростые задачи. Одна из них непосредственно связана с развитием космической техники и технологий. Существующие в настоящее время условия и перспективы развития космоса открывают перед мировым сообществом принципиально новые возможности. Углубленное освоение космического пространства, включающее выполнение стратегических оборонных задач, осуществление сверхдальних полетов с целью исследования Солнца, планет и астероидов, определяют необходимость использования принципиально новых подходов к энергетическому и ресурсному обеспечению аппаратов. Неизбежность использования ядерной энергии в космосе определяется необходимостью решения принципиально новых задач, значительным (до 20 лет) повышением длительности функционирования и мощности космических энергетических установок (КЭУ), которая должна превысить значение в 1 МВт. С этой целью в Российской Федерации создается не имеющий мировых аналогов космический энергетический модуль (ЭМ) с ядерной энергодвигательной установкой (ЯЭДУ). Его ввод в эксплуатацию позволит добиться значительного увеличения массы выводимой на целевую орбиту полезной нагрузки, обеспечив значительный экономический эффект.¹

Таким образом, создание мощных ядерных энергодвигательных установок (ЯЭДУ) обусловит начало новой эпохи освоения космического пространства, развития российской науки в целом, наукоемких отраслей промышленности и становление принципиально новой технологической базы страны. Ввод в эксплуатацию КА с ядерными энергодвигательными установками приведет к необходимости решения комплексных взаимообусловленных оптимизационных задач, связанных с объединением двух наиболее сложных в управлении и высокочрезвычайных в случае компенсации групп космических и ядерных рисков.

¹ Коротеева А.А. Основы тарификации при страховании при страховании запусков космических аппаратов с ядерной энергодвигательной установкой // Страховое дело. 2018. №4 С. 30-35

Перед страховыми компаниями будет стоять задача по разработке, апробации и согласованию новых подходов к оценке риска и возможного ущерба, причиненного в случае потери или частичной гибели принципиально новых космических аппаратов и необходимых для их выведения ракет-носителей.

Вторая задача заключается в пересмотре действующих принципов оценки риска при расчетах страхового тарифа. Авария пилотируемого КА «Союз МС-10» в октябре 2018 года стала неожиданным событием для страхового рынка. Аварийный запуск одного из самых надежных аппаратов привел к заметным репутационным потерям как российской программы пилотируемых запусков, так и отечественной космонавтики в целом. Одновременно проявились недостатки действующей системы оценки космических рисков, влияющие на финансовую устойчивость страхового сегмента.

С учетом изложенного, тема диссертационной работы, направленной на совершенствование системы оценки рисков запусков космических летательных аппаратов, в том числе снабженных ядерными энергодвигательными установками, представляется **особенно актуальной**.

Степень разработанности проблемы

Вопросам развития системы риск-менеджмента и страхования рисков космической деятельности уделяется значительное внимание с первых шагов развития космических технологий. Динамичное совершенствование технических решений, разработка инновационных моделей КА обуславливают необходимость постоянного развития страхового рынка и коррекции методов и подходов к оценкам соответствующих рисков.

Вопросы, связанные с исследованием специфики процесса управления космическими рисками, особенностями этапов жизненного цикла космических проектов и сопутствующих им рисков, необходимости развития исследуемого страхового сегмента, стали актуальными под влиянием научных работ Р. Арчибальда, Г.П. Белякова, В.А. Волкова Ю.А., Володина С.В., Анищенко, М.В. Сафронова, Д.А.Медведчикова, Е.Н.Сериковой, В.А., Ястебовой В.И.

Результаты изучения основных особенностей рисков космической деятельности и их классификации описаны в работах следующих зарубежных и российских авторов: Daniel M. Gerstein, James G. Kallimani, Lauren A. Mayer, Leila Meshkat, Jan Osburg, Ю.А. Анищенко, Е.С. Башуровой, Г.П. Белякова, В.В. Копытова, Д.А. Медведчикова, М.В. Сафронова, А.С. Славянова, А. Соболев, В.Н. Товстонощенко, О. Фадеева, Е.Ю. Хрусталева.

Исследованиям факторов наступления экологического риска при осуществлении ракетно-космической деятельности, оценкам последствий, разработками комплексов превентивных мероприятий и нормированию экологического воздействия посвящены работы А.Д. Кондратьева, Н.С. Касимова, П.П. Кречетова, Т.В. Королевой, О.В. Черницовой, А.С. Фадеева, А.В. Шараповой.

Подходы к оценке рисков космических проектов рассматриваются в работах R.P. Ocampo, D.M. Klaus, Robert B. Cross, William E. Vesely, Armen Der Kiureghian, А.И. Орлова и А.Д. Цисарского.

В.И. Куренковым, В.А. Капитоновым, А.И. Клеминым рассмотрены особенности подходов к расчету и обеспечению надежности ракетно-космических комплексов, методы расчета показателей надежности отдельных элементов и узлов, сложных технических систем с сетевой структурой. Дополнительно авторами обоснованы методы обеспечения надежности функционирования ракетно-космической техники на всех этапах ее жизненного цикла; принципы нормирования надежности и др.

Вопросы развития и обеспечения безопасности при эксплуатации космических аппаратов с ядерными энергодвигательными установками рассмотрены в работах А.А. Гафарова, К.Д. Долгуничева, П.А.Карасева, А.И. Клемина, А.В. Семенкина, А.Е. Солодухина, О.В. Яковлева.

Результаты проведенного анализа литературных и патентных источников свидетельствуют о наличии значительного количества научных работ, направленных на развитие системы страхования космических рисков. Вместе с тем, аспекты совершенствования подходов и методов оценки рисков запусков

принципиально новых космических аппаратов, в том числе с ядерными энергодвигательными установками, до настоящего времени остаются практически не изученными.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка модели оценки принимаемых на страхование рисков запуска космических аппаратов, в том числе разработанных с использованием инновационных технологий.

Для достижения указанной цели исследования должны быть решены следующие **основные задачи**:

1. Выявить закономерности развития ракетно-космической отрасли в СССР и РФ.
2. Определить основные направления совершенствования рынка страхования космических рисков на основе результатов анализа его ключевых показателей.
3. Усовершенствовать классификации основных причин аварий отечественных КА и рисков космических проектов.
4. Актуализировать и разработать модели оценки рисков, обусловленных запусками КА нового поколения, в том числе снабженных ядерными энергодвигательными установками (ЯЭДУ).
5. Разработать рекомендации по оптимальной длительности первого полета КА с ЯЭДУ с точки зрения обеспечения взаимоприемлемых условий для страховщика и страхователя на основе выявленной закономерности, характеризующей надежность космического модуля с ЯЭДУ.

Предмет и объект исследования

Объект исследования – риски реализации космических проектов

Предмет исследования – оценка рисков при страховании запусков космических аппаратов нового поколения.

Научная новизна результатов исследования

Научная новизна исследования заключается в разработке концептуальных основ оценки рисков запуска космических летательных аппаратов, включая не имеющие мировых аналогов транспортные и энергетические модули нового

поколения с целью развития системы страхования рисков ракетно-космической отрасли.

Элементы научной новизны заключаются в следующем:

1. На основе анализа ключевых показателей деятельности российского сегмента страхования космических рисков обоснована необходимость совершенствования системы оценки рисков космических проектов с учетом ввода в эксплуатацию КА с ЯЭДУ. Негативная реакция рынка на высокую убыточность из-за аварий 2017-2018 годов и изменения в соответствующем сегменте страхования последующие годы свидетельствуют о целесообразности пересмотра используемых подходов.
2. Разработаны и усовершенствованы классификации основных причин аварий отечественных КА и рисков космических проектов с учетом перспективного направления развития отрасли. Введены в рассмотрение новые укрупненные категории: дефицит кадрового резерва и проблемы организации производства. Ввод в эксплуатацию космического аппарата с ЯЭДУ обуславливает необходимость управления новым для ракетно-космической отрасли ядерным риском.
3. Разработаны модели оценки риска ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц, а также риска причинения ущерба имуществу при авариях новых ракет-носителей с КА. Обоснованы геометрические размеры зоны возможного поражения объектов инфраструктуры фрагментами аварийного космического аппарата. На основе анализа показателей результативности первых трех запусков вводимых в эксплуатацию в разное время отечественных КА, установленных причин и количества отказов их элементов, а также надежности узлов носителей предложен подход для оценки вероятности наступления риска потери имущества в результате аварии на этапе запуска.
4. На основе разработанных методики оценки надежности ключевых элементов и модели оценки риска ответственности перед третьими лицами обоснована

целесообразность запуска КА с ЯЭДУ с космодрома Восточный и рекомендация ограничения продолжительности первого полета.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в расширении диапазона научных взглядов, методов и подходов, направленных на дальнейшее развитие системы страхования рисков космической деятельности за счет совершенствования методов оценки принимаемых на страхование рисков запуска новых космических аппаратов.

Практическая значимость работы

Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования, могут использоваться в практической деятельности следующих организаций и коллективов ученых:

1. Центрального Банка РФ в части рекомендаций по развитию подходов к оценке рисков эксплуатации принципиально новых космических аппаратов.
2. Российской национальной перестраховочной компании и иных участников рынка страхования рисков космической деятельности в части совершенствования теоретической базы и методов, применяемых при количественной оценке и прогнозировании рисков космической деятельности, в том числе эксплуатации космических аппаратов и систем нового поколения.
3. Российской Ассоциации авиационных и космических страховщиков в части совершенствования методик оценки принимаемых на страхование космических рисков.
4. Госкорпорации «Роскосмос», предприятий ракетно-космической отрасли в части возможности их использования для совершенствования теоретических основ и количественных оценок рисков космической деятельности в современных условиях.
5. Специалистов в области страхования и управления рисками в части возможности их использования при проведении научных исследований в соответствующей области.

6. Профессорско-преподавательского состава университетов и ВУЗов соответствующей специализации при подготовке курсов лекций, практических занятий, курсовом и дипломном проектировании.

Методологическая база исследования

При выполнении научного исследования использованы методы познания эмпирического и теоретического уровней. Эмпирическая часть исследования проведена с использованием собранных, обработанных и систематизированных статистических данных, характеризующих:

- космические запуски (количество, результативность, выводимые космические аппараты, причины аварий);
- состояние мирового и российского рынков страхования космических рисков;
- результаты деятельности отдельных страховых компаний РФ, представленных в сегменте страхования рисков ракетно-космической отрасли;
- основные показатели полета ракеты-носителя «Протон-М»;
- основные технические и эксплуатационные показатели отечественных ракет-носителей и космических аппаратов, в том числе КА с ЯЭДУ.

Для анализа данных применены методы экономического анализа, включая прогнозирование, выявление тенденций и закономерностей, а также графическое моделирование с помощью программ Excel (MS Office) и R-Studio. Для оценки риска потери космического аппарата на стадии запуска и величины возможного убытка использован вероятностный подход. Основные факторы, влияющие на величину ущерба в случае аварии космического аппарата, выявлены с использованием метода научной абстракции.

На теоретическом уровне применены методы анализа и синтеза, сравнения, обобщения, систематизации, а также метод исторических аналогий.

Теоретическая база исследования

В качестве теоретической базы диссертационного исследования использованы:

- научные труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные управлению и страхованию рисков реализации проектов ракетно-космической отрасли;
- материалы ведущих практиков страхового рынка, представленные на различных научных конференциях соответствующей тематической направленности;
- рекомендации российских и международных организаций по практике страхования рисков космической деятельности;
- международное законодательство и национальные нормативно- правовые акты, регулирующие отношения, возникающие при проведении космических исследований и реализации космических проектов.

Эмпирическая база исследования

В качестве источников эмпирических данных использованы обзоры космических запусков госкорпорации «Роскосмос», Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства NASA, Европейского космического агентства ESA. Для определения тенденций развития мировой космонавтики с 1957 г. по 1990 г. проанализированы материалы статей о новых технологических решениях и достижениях в области проведения космических исследований, опубликованные в серии книг «Ежегодник Большой Советской Энциклопедии». Дополнительно использованы данные страховых и перестраховочных компаний, работающих с рисками, характерными для космических проектов, а также статистические материалы программы R-Studio.

Положения, выносимые на защиту

1. Факторами, определяющими необходимость совершенствования системы оценки рисков космических проектов, являются планируемый ввод в эксплуатацию КА с ЯЭДУ, а также изменения на российском рынке страхования космических рисков, определяемые его высокой убыточностью в 2017- 2018 годах и пересмотром условий перестрахования зарубежными партнерами. Потребность в новых методах расчета вероятности наступления страховых случаев и связанного с ними ущерба становится актуальной в условиях небольшого количества стартов и создания инновационных КА и систем.

2. Создание укрупненной классификации основных причин нештатных ситуаций при эксплуатации отечественной космической техники направлено на совершенствование функционирования ракетно-космической отрасли. В результате систематизации данных об авариях российских КА с 2006 года охарактеризованы классификационные категории: воздействие непреодолимой силы; недостаточность кадрового резерва; системные сбои организации производства. Построение усовершенствованной классификации рисков космического проекта, включающей введение на каждом из его этапов дополнительной категории ядерного риска, обусловлено подготовкой к эксплуатации КА с ЯЭДУ.

3. Оценка риска ответственности за причинение вреда жизни, здоровью и имуществу третьих лиц в случае потери принципиально нового КА с ЯЭДУ на этапе запуска основана на анализе максимальной вероятности возникновения такого события. Предложенная в работе модель оценки соответствующего риска характеризует зависимость численного значения этого показателя от размеров зоны возможного поражения объектов инфраструктуры фрагментами аварийного космического аппарата.

При оценке риска причинения ущерба имуществу в случае аварии ракеты-носителя нового поколения следует учитывать результативность первых трех запусков ранее вводимых в эксплуатацию носителей, количество произошедших отказов и их причины, а также надежность их элементов.

4. Минимизация уровня риска при осуществлении первого запуска КА с ЯЭДУ достигается при использовании стартового комплекса космодрома Восточный и оптимальной продолжительности полета равной одному году. Выбор космодрома обусловлен наименьшими значениями вероятности причинения вреда жизни, здоровью и имуществу третьих лиц, а его рекомендуемая длительность-обеспечением требуемых показателей надежности.

Степень достоверности

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования определяется использованием:

- официальных статистических данных и информации о реализации космических проектов и развитии мировой космонавтики в целом;
- доказанных положений, сформулированных с использованием общепринятых основ фундаментальных и прикладных наук;
- современных теоретических и эмпирических методов познания позволяющих провести комплексное всеобъемлющее исследование, завершившееся получением обоснованных результатов, опубликованных в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях и подвергнутых всестороннему обсуждению на различных научных форумах.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертационное исследование соответствует пункту 7.5 («Развитие страховых систем и страхового рынка в современных условиях») паспорта специальности 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит.

Апробация и реализация результатов диссертации.

Основные положения работы обсуждались на:

1. конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», 2017-2019 г.г., МГУ имени М. В. Ломоносова (опубликованы тезисы докладов);
2. VII Международной студенческой научно-практической конференции «Inclusive Growth: Essence and Implications», 2018 г., МГУ имени М. В. Ломоносова;
3. 24-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов (с международным участием) 2017 г., Государственный университет «Дубна» (опубликованы тезисы доклада).

Основные положения диссертации представлены в девяти публикациях автора общим объемом 2,67 печатного листа, в том числе в четырех статьях из перечня научных рецензируемых изданий, рекомендованных Ученым советом МГУ имени М.В.Ломоносова для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 08.00.10 – Финансы, денежное обращение и кредит, а также одной

статье в издании, рекомендуемом ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Две публикации выполнены в соавторстве.²

Основы диссертационного исследования использованы автором при подготовке и в процессе преподавания магистерского курса «Страхование фундаментальных рисков» на направлении подготовки «Государственное управление в космической отрасли» факультета космических исследований МГУ имени М.В. Ломоносова.

Структура научно- квалификационной работы (диссертации)

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографии и приложений. Общий объем работы составляет - 172 страницы. Работа содержит 36 рисунков, 17 таблиц, 27 формул, 122 литературных источников, 4 приложения.

² Акимов В.Н., Гафаров А.А., Долгуничев К.Д., Коротеева А.А. Вопросы страхования космических аппаратов с ядерными энергетическими установками // Страховое дело 2018. №12, С. 39-46
Семенкин А.В., Гафаров А.А., Солодухин А.Е., Коротеева А.А. Некоторые вопросы радиационной безопасности и страхования космических аппаратов с ЯЭУ // Атомная энергия 2020. Т. 128, № 1, С.11-17

ГЛАВА 1. Страхование в ракетно-космической промышленности

1.1. Роль страхования в развитии ракетно-космической отрасли

Основная цель функционирования космической отрасли состоит в создании «экономически устойчивой, конкурентоспособной, диверсифицированной ракетно-космической промышленности, обеспечении гарантированного доступа и необходимого присутствия России в космическом пространстве»³. Ракетно-космическая промышленность является наукоемкой отраслью со сложной структурой, объединяющей множество предприятий различной направленности.

Специфика построения системы риск-менеджмента в ракетно-космической промышленности обуславливается особенностями отрасли. Осуществление проектов в сфере космических исследований связано с привлечением значительных государственных и частных инвестиций, необходимость которых определяется существенными затратами на выполнение работ по проектированию, разработке, производству, запуску и поддержке орбитальной эксплуатации космических аппаратов. Межотраслевая специфика производственных процессов, а также постоянное совершенствование производственных технологий и технических решений определяет сложность оценки рисков космического проекта. В его реализации принимает участие большое количество исполнителей, что опосредованно влияет на возможность появления дополнительных рисков, связанных с решением многочисленных организационных вопросов.

Одним из эффективных и распространенных способов поддержания экономической устойчивости отрасли является страхование рисков космических проектов. Ввиду высокой стоимости производства космических аппаратов и систем в случае их потери на стадии запуска или орбитальной эксплуатации

³ Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 28.09.2018) <О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года> (вместе с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года») [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/

минимальная сумма ущерба будет сопоставима со стоимостью производства аналогичного аппарата или системы. Авария при запуске сопровождается также значительным экологическим ущербом, возможным причинением вреда жизни и здоровью людей, а также причинением ущерба имуществу третьих лиц.

Страховой механизм выполняет не только компенсационную функцию, заключающуюся в обеспечении возмещения производственных затрат и иных компенсационных выплат, предусмотренных страховым договором, в случае наступления страхового случая. Система страхования предполагает стимулирование развития системы превентивных мероприятий, контроля качества производства, налаживания комплексной системы риск-менеджмента отрасли.

Страхование рисков космической деятельности способствует инновационному развитию, поиску новых технологических решений, повышению надежности эксплуатируемых объектов и систем, разработке принципиально новых космических аппаратов, являясь, таким образом, дополнительным драйвером развития космической промышленности.

Одним из основных эффектов влияния страхового механизма на ракетно-космическую отрасль является ограничение оттока финансовых ресурсов, необходимых для ликвидации последствий аварий, урегулирования причиненного ущерба, снижение необходимости «заморозки» финансовых средств для создания собственных резервных фондов. Кроме того, страховая система способствует перераспределению денежных средств из финансового сектора в наукоемкое инновационное производство.

Страхование является также условием привлечения иностранного капитала и частных инвестиций в отрасль. В этом случае страховой рынок выступает гарантом сохранности вложенных средств в осуществление инновационного космического проекта, а передача части рисков страховой компании способствует росту показателя доверия иностранных инвесторов.

Таким образом, страхование выполняет не только функцию, связанную с обеспечением компенсационных выплат по ущербу, причиненного вследствие

наступления аварийных ситуаций. Среди косвенных эффектов влияния страхования на развитие ракетно-космической отрасли можно выделить: инвестиционный, стимулирующий развитие внутренней системы риск-менеджмента отрасли, а также поддерживающий инновационное развитие за счет высвобождения денежных средств из резервных фондов.

1.2. История развития рынка страхования космических рисков

Первый полис страхования американского телекоммуникационного космического аппарата Earlybird (Intelsat-1) был выдан в 1965 году⁴. Возникновение отдельного вида страхования, специализирующегося на защите имущественных интересов, связанных с возмещением ущерба, причиненного полной (частичной) потерей КА на любом из этапов реализации космического проекта, а также ответственности перед третьими лицами, произошло в середине 1980-ых годов, хотя его механизм был разработан в 70-ых годах прошлого столетия. Формирование рынка нового сегмента страхования сопровождалось привлечением большого количества участников и, как следствие, высокой конкуренцией. Для достижения успеха страховые компании предлагали как можно более выгодные условия, фактически осуществляя демпинг страховых тарифов.

К концу 1980-ых годов «ставки упали до 7% для пуска многоразовых транспортных космических кораблей Space Shuttle и до 8% для пуска других типов ракет-носителей. Ряд крупных убытков (аварии аппаратов Challenger, Ariane, Delta) привел к значительному сокращению емкости рынка и увеличению ставок до 25% для риска на этапе запуска»⁵. В дальнейшем ситуация на рынке страхования космических рисков стабилизировалась, однако развитие космических технологий, увеличение емкости рынка, вновь способствовали росту

⁴ Медведчиков Д.А. Перестрахование и взаимоотношения в космическом страховании [Электронный ресурс] // www.space-ins.ru [сайт]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/2009-12-19-16-12-55/21-relations.html> (дата обращения 23.03.2019)

⁵ Медведчиков Д.А. Рынок страхования космических рисков [история, динамика развития, виды страхования, краткосрочные перспективы] [Электронный ресурс] // www.info-insur.ru [сайт]. URL: <http://www.info-insur.ru/analysis/263/> (дата обращения 23.03.2019)

конкуренции и привели к изменению ценовой политики предоставляемых страховыми компаниями услуг. В 1998 году емкость рынка достигла 1,2 млрд. долл. США.

Рост аварийности КА, начиная с 1999 года, серия технических сбоев КА платформ Boeing, крупнейший теракт в США 11 сентября, привели к ухудшению ситуации в отрасли и скачку ставок⁶.

Первый договор страхования космических рисков в СССР был заключен также в 1965 году. Это был договор страхования гражданской ответственности по возмещению третьей стороне убытков, причиненных в период предстартовой подготовки. В то время как страхование космических рисков за рубежом активно развивалось с середины 60-х годов XX века, в СССР этот сегмент страхования использовался незначительно, а его активное развитие началось в 1990-х годах, когда правопреемником СССР стала Россия. Интерес страховых компаний к данному сегменту обуславливался высокими тарифными ставками, существенным размером страховых премий и относительно невысоким уровнем аварийности космических объектов⁷.

Неофициальной датой начала функционирования отечественного рынка страхования космических рисков иногда считается 12 ноября 1990 года. В этот день был выдан первый полис, покрывавший риск гибели КА «Горизонт- 33» на этапах его предстартовой подготовки и пуска. Первый российский полис, покрывавший ответственность участников космической деятельности перед третьими лицами, был выдан в 1996 г. К 1999 году емкость российского страхового рынка в сегменте космического страхования составляла приблизительно 40 млн долл. США. Однако соответствующий сегмент развивался медленно и нестабильно из-за ненадлежащей проработки механизмов страхования, практически полного отсутствия страховой инфраструктуры, а также нехватки квалифицированных кадров. Сложная экономическая ситуация в стране

⁶ Там же

⁷ Страхование космических рисков. История создания страхового рынка в России [Электронный ресурс] // [www.ins-capital.ru](http://ins-capital.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=46:2011-11-29-16-37-34&catid=5:2011-11-29-16-20-12&Itemid=6) [сайт]. URL: http://ins-capital.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=46:2011-11-29-16-37-34&catid=5:2011-11-29-16-20-12&Itemid=6 (дата обращения 23.03.2019)

в 1990-ых годах, невысокий уровень общей страховой культуры, понимания сущности страхового механизма потенциальными клиентами тормозили развитие рынка страхования космических рисков. В силу указанных причин большая часть рисков, передавалась на страхование в зарубежные компании. С развитием основ рыночной экономики в стране, улучшением общеэкономической ситуации, подъемом производства произошло оживление узкоспециализированного рынка страхования космической деятельности. Индивидуальный подход практически к каждому страхователю, а также комплексный анализ широкого спектра принимаемых на страхование рисков, обусловили необходимость форсированной разработки методов и принципов осуществления данного вида деятельности, а также законодательного закрепления основных положений ведения страхового бизнеса. Рост спроса на данный вид услуг стал движущей силой развития рынка страхования космических рисков.

1.3. Динамика аварийности космических запусков

Страхование рисков ракетно-космической отрасли является комплексной задачей, включающей оценку и предоставление страховой защиты на случай наступления специфических рисков на разных этапах осуществления проекта по запуску КА. Для проведения корректной оценки вероятности наступления страхового случая и величины возможного убытка осуществляется сбор, систематизация и анализ статистических показателей предыдущих периодов⁸.

В таблице 1 представлены данные по общемировому количеству космических запусков с 1957 по 2019 гг. С начала эпохи освоения космического пространства лидерами стали СССР и США.

⁸ Коротева А.А. Динамика аварийности и страхование запусков космических аппаратов в РФ // Страховое дело 2018. №6. С. 18-25

Таблица 1 Количество космических запусков с 1957 г. по 2019 г.

Название категории / Временной интервал	1957- 1959	1960- 1969	1970- 1979	1980- 1989	1990- 1999	2000- 2009	2010- 2019
Количество запусков	55	446	1273	1191	890	664	829
Количество аварийных запусков	32	77	82	46	54	34	39
Количество успешных запусков	23	369	1191	1145	836	630	790
Процент аварийных запусков (%)	58,2	17,3	6,44	3,86	6,067	5,12	4,70

Источник: построена автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что начало освоения космоса характеризовалось низким уровнем надежности космической техники: более половины запусков, осуществленных с 1957 г. по 1959 г., закончилась неудачей. Причиной являлись несовершенство технических решений, нехватка квалифицированных кадров, недостаточное количество испытаний сложных систем и узлов в условиях, приближенных к условиям эксплуатации в космосе. Эти недостатки устранялись по мере развития ракетно-космической отрасли. Процент аварийных запусков за период с 1960 г. по 1969 г. сократился более, чем в три раза при условии, что общемировое число осуществленных запусков возросло в восемь раз. Наибольшее количество космических стартов за десятилетие- 1273 произведено в период с 1970 по 1979 гг.

В следующем десятилетии число запусков сократилось примерно на 7%, а количество аварийных уменьшилась на 2,58%, достигнув исторического минимума за всю историю реализации космических проектов – 3,86%.

В дальнейшем увеличение показателя аварийности в СССР в основном происходило при апробациях и вводе в эксплуатацию новых космических аппаратов. Период с 1990 г. по 1999 г. характеризовался замедлением развития ракетно-космической промышленности в РФ, вызванным общим экономическим

спадом в стране (рисунок 1). После распада СССР финансирование отрасли было значительно сокращено, что сказалось как на общем количестве космических запусков, так и на показателе аварийности (рисунок 2). Некоторый временной лаг объясняется сохранением в течение определенного промежутка времени достаточной эффективности функционирования, культуры и дисциплины производства на предприятиях ракетно-космической отрасли после распада СССР.

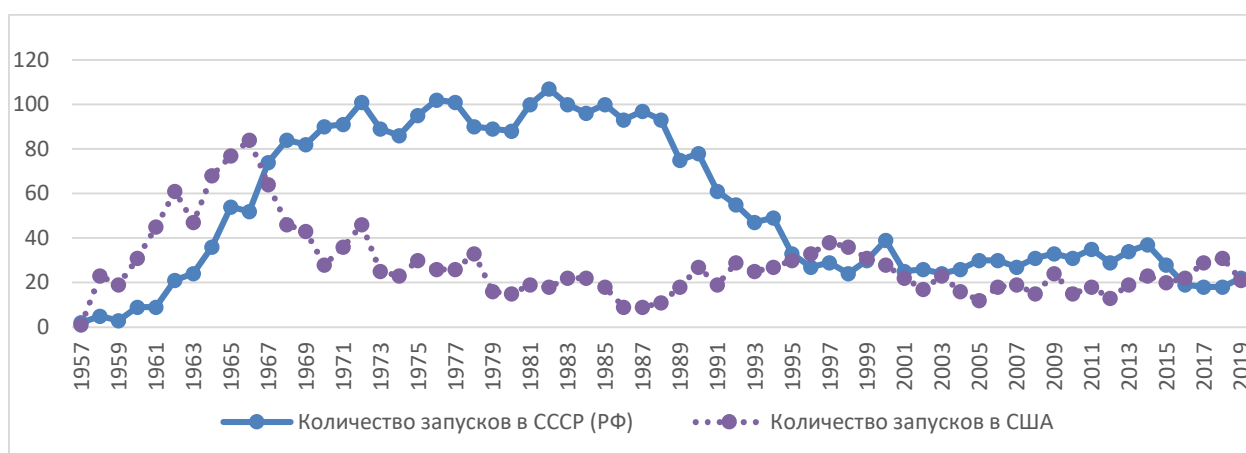


Рисунок 1 Количество запусков в СССР (РФ) и США в год за период с 1957 г. по 2019 г.

Источник: построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

Одной из причин относительно высокого показателя аварийности в последние годы является накопление негативных последствий функционирования отрасли в 1990-х годах, в том числе связанных с выраженным дефицитом высококвалифицированных кадров из-за значимого оттока в коммерческие структуры.

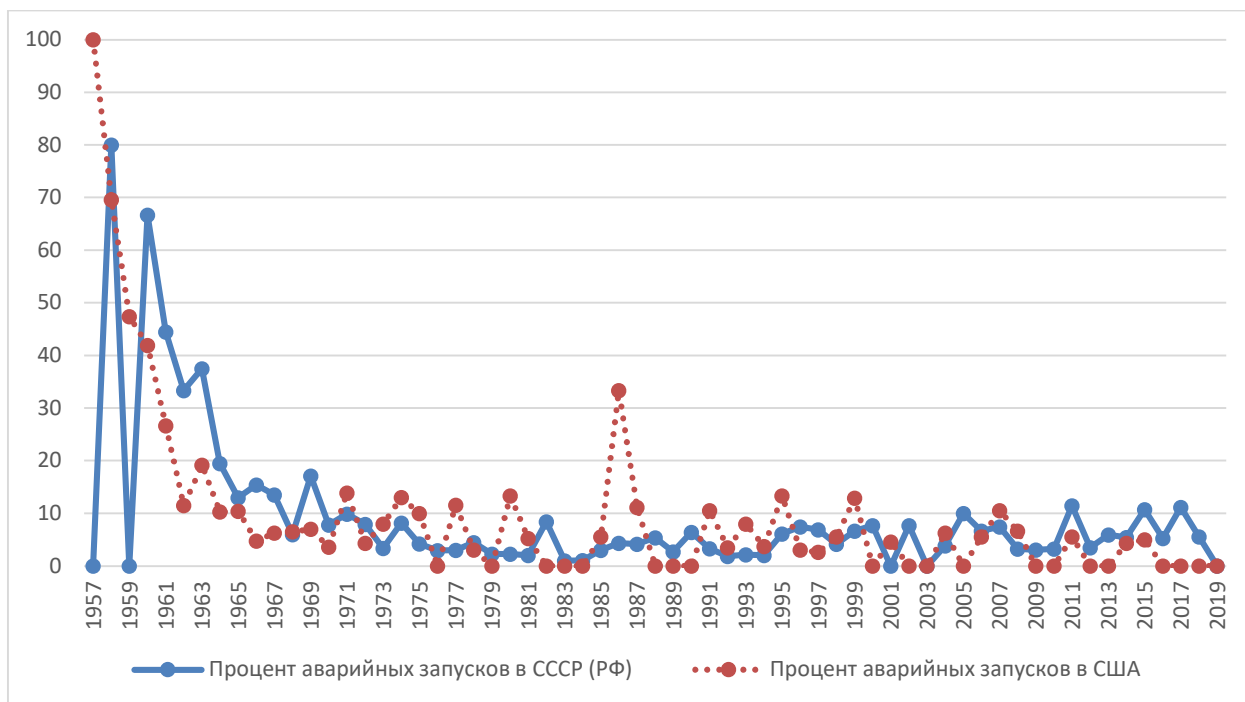


Рисунок 2 Процент аварийных запусков в СССР, РФ и США с 1957 г. по 2019 г.

Источник: построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

На фоне спада активности космических исследований РФ и США увеличилась доля запусков, осуществляемых иными государствами. Если с 1990 г. по 1999 г. доля космических проектов, реализованная такими странами, составила 18%, то в следующем десятилетии уже 26%, в с 2010 г. по 2019 г. – 46% (рисунок 3).

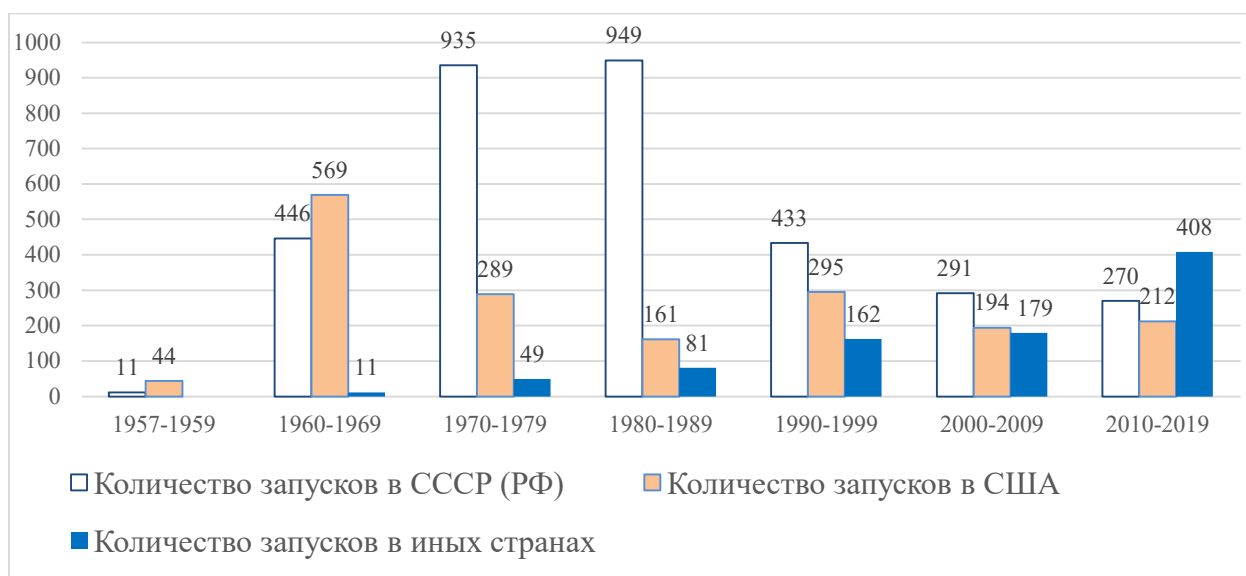


Рисунок 3 Количество космических стартов в разных странах с 1957 г. по 2019 г.

Источник: построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

На рисунке 4 представлены данные по количеству запусков, проведенных с 2010 г. по 2019 г., без учета РФ и США. Наибольшего прогресса в области развития космической техники достигли Китай (53,73%), страны ЕС (19,4%), Индия (11,19%), Япония (9,2%) и Новая Зеландия (2,49%). Совокупная доля остальных стран, включая Иран, Израиль, Украину, Республику Корея и КНДР составляет менее 7%.

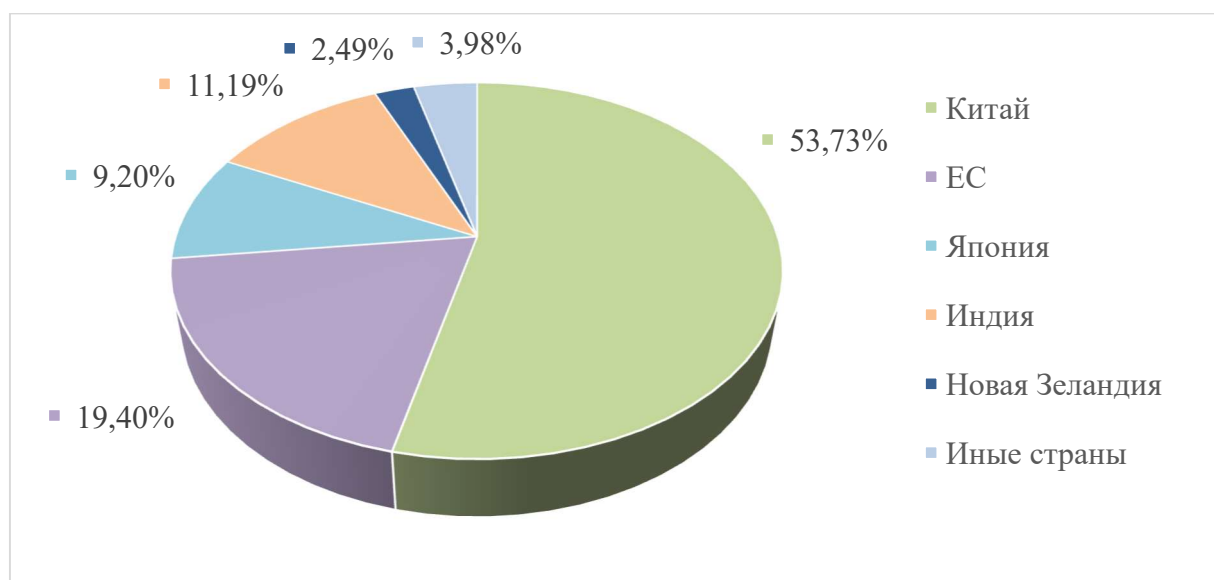


Рисунок 4 Распределение количества запусков с 2010 г. по 2019 г. без учета РФ и США

Источник: построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

1.4. Современные тенденции развития мирового рынка страхования космических рисков

В период с 2003 по 2018 год на мировом рынке страхования космических рисков наблюдалась устойчивая тенденция сокращения тарифных ставок по страхованию рисков запуска и орбитальной эксплуатации КА⁹. На рисунке 5 представлен график, характеризующий средний уровень ставок по этим основным страховым продуктам.

⁹ Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страховое дело 2019. № 6, С.19-26

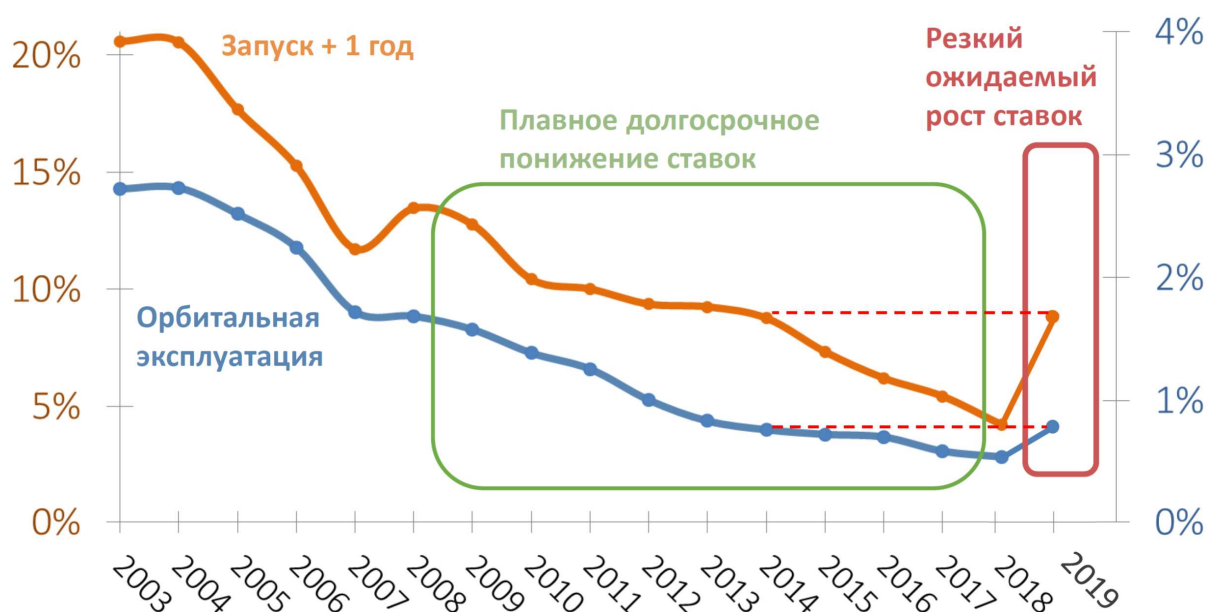


Рисунок 5 Уровень страховых ставок по страховым продуктам «запуск» и «орбитальная эксплуатация»

Источник: Фузик Т.В. Рынок космического страхования 2019 [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2019]. URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/Рынок-космического-страхования-2019.pdf> (дата обращения 01.03.2020)

На основе анализа приведенных данных можно сделать вывод о том, что изменение уровня тарифных ставок по страхованию рисков запуска за период с 2003 по 2018 годы составило примерно 16%. Среднее значение величины ставок по страхованию рисков орбитальной эксплуатации уменьшилось практически на 2,25%. Такая тенденция объясняется в том числе избыточным предложением страховой и перестраховочных емкостей, а также стремлением страховых компаний увеличить свою долю на данном сегменте. Предполагаемое резкое увеличение страховых тарифов обуславливается увеличением показателя аварийности космической техники, наблюдаемым в 2018 году, а также высоким показателем убыточности страхового сегмента.

На рисунке 6 представлена диаграмма, иллюстрирующая изменение теоретической емкости страхового рынка и график изменения средней величины ставки по страхованию рисков запуска и орбитальной эксплуатации в течение одного года после запуска за период с 2002 по 2018 год.

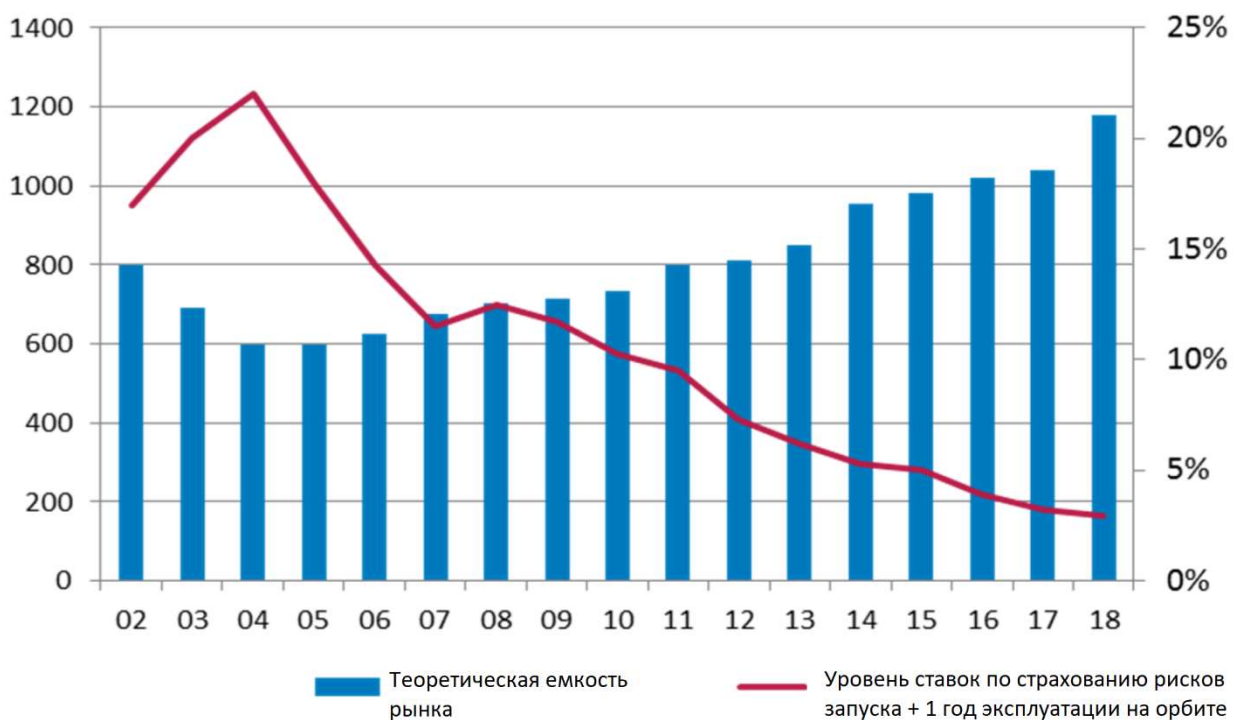


Рисунок 6 Изменение теоретической емкости рынка страхования космических рисков (млн долл. США) и страховой ставки по рискам запуска и орбитальной эксплуатации в течение одного года по наиболее предпочтительным рискам (%)

Источник: Raaks 2019 State of the space insurance market [Электронный ресурс] // [www.raaks.ru](http://www.raaks.ru/wp-content/uploads/2019/02/State-of-the-Space-Insurance-Market.pdf): [сайт]. [2019]. URL: <http://www.raaks.ru/wp-content/uploads/2019/02/State-of-the-Space-Insurance-Market.pdf> (дата обращения 02.03.2019)

Из приведенных данных следует, что за период с 2004 по 2018 годы величина теоретической емкости страхового рынка возросла чуть менее, чем на треть, а значение ставки по страхованию рассматриваемой категории рисков уменьшилась более, чем в четыре раза.

Для отечественной космонавтики 2018 год закончился неудачным запуском пилотируемого космического корабля «Союз МС-10». Применяемая при запуске пилотируемых КА ракета-носитель является одной из самых надежных выводящих систем. С учетом ряда аварийных запусков предыдущих лет в начале 2019 года на российском сегменте космического страхового рынка произошло сокращение страховой емкости по трем основным направлениям: уменьшение

емкости по страхованию рисков гражданской ответственности при запуске КА составило 15 млн долл. США, по страхованию рисков запуска и орбитальной эксплуатации – 40 млн долл. США. В 2019 году произошли три крупных убытка в связи с потерей космических аппаратов FalconEye 1, ChinaSat-18, WorldView-4, что привело к значительному сокращению емкости мирового рынка страхования космических рисков. Показатель емкости по страхованию рисков гражданской ответственности уменьшился на 75 млн долл. США, по страхованию рисков запуска и орбитальной эксплуатации - на 250 млн долл. США¹⁰. Сокращение предложения страховых услуг обусловило рост страховых тарифов. Таким образом, существует обратная зависимость между величиной страховой емкости рынка и уровнем страховых ставок.

На конец 2018 года требуемая емкость мирового рынка страхования рисков космической деятельности составляла приблизительно 800 млн долл. США (рисунок 7). Однако среднее значение показателя емкости не превышало 200 млн долл. США, что свидетельствует о значительном переизбытке соответствующего показателя. Кроме того, наблюдалась тенденция увеличения числа запусков, страховая сумма по которым составляет менее 100 млн долл. США.

¹⁰ Фузик Т.В. Рынок космического страхования 2019 URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/Рынок-космического-страхования-2019.pdf>

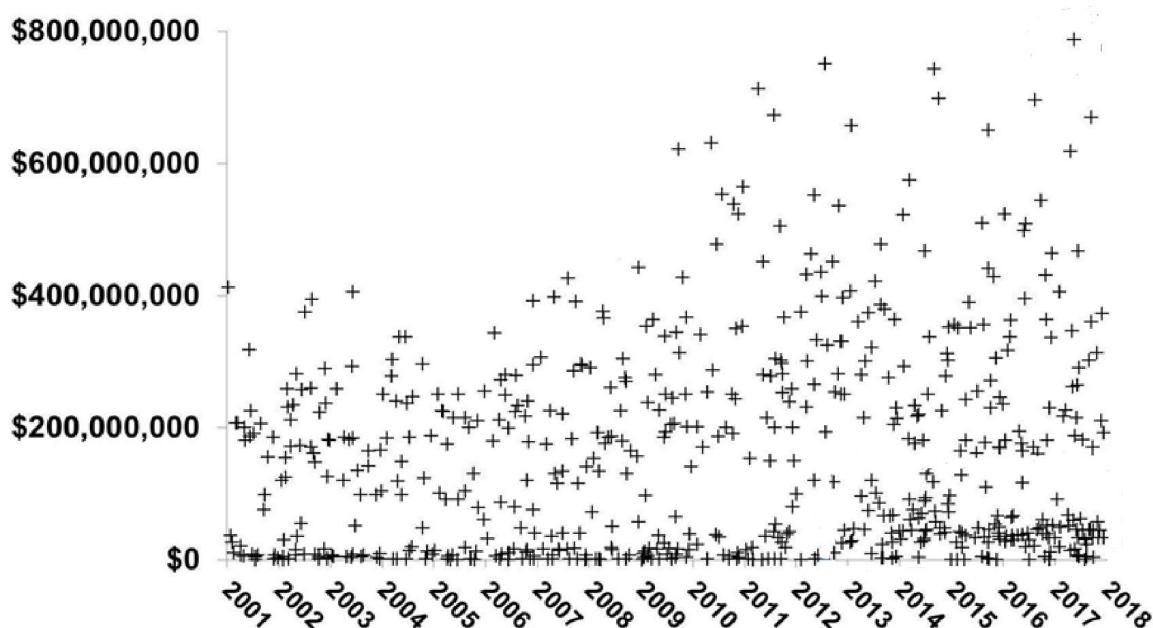


Рисунок 7 Распределение запусков по величине показателя страховой суммы
(долл. США)

Источник: Обзор рынка страхования космической деятельности [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2018]. URL: http://old.raaks.ru/docs/doc20181010_001.pdf (дата обращения 02.03.2019)

Начиная с 2012 года на рынке страхования космических рисков наблюдается снижение объемов собранной страховой премии (рисунок 8). С 2012 по 2018 годы этот показатель сократился практически на 60%. На этом фоне 2015 и 2018 годы стали убыточными. После понесенных в 2015 году убытков, принимая во внимание общую тенденцию снижения ставок, страховые компании стали более детально проводить процедуру андеррайтинга для снижения вероятности участия в страховании проектов с относительно высоким уровнем риска. В этой связи доступность к страховой емкости для некоторых космических проектов осложнилась¹¹.

¹¹ Текущее состояние международного рынка страхования космических рисков [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2018]. URL: http://raaks.ru/docs/doc20180227_016.pdf (дата обращения 02.03.2019)

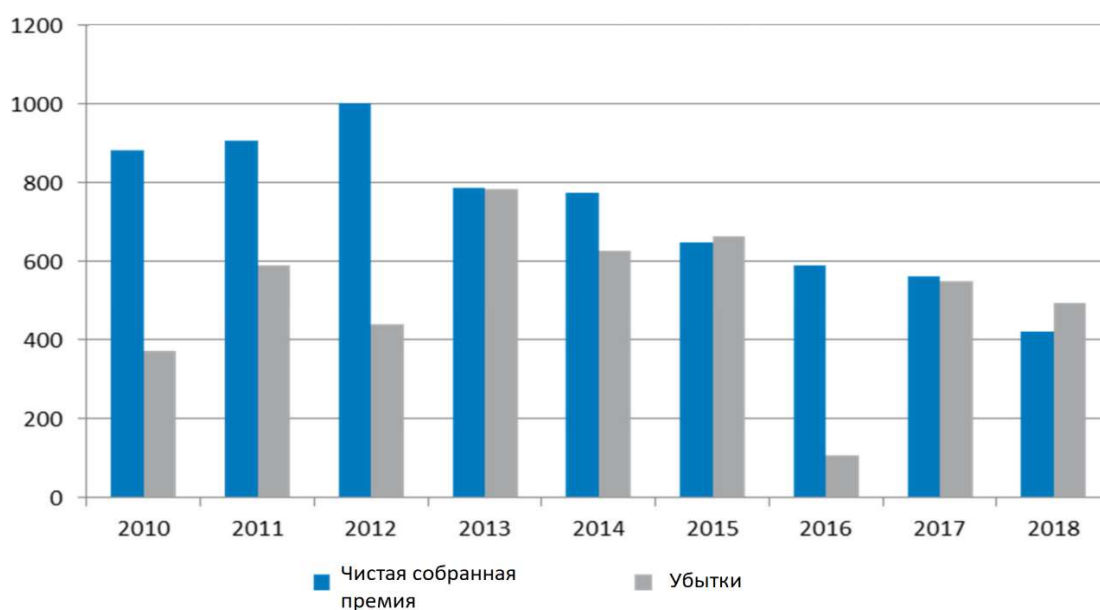


Рисунок 8 Изменение собранных премий и убытков на мировом рынке страхования космических рисков (млн долл. США)

Источник: Raaks 2019 State of the space insurance market URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/02/State-of-the-Space-Insurance-Market.pdf> (дата обращения 02.03.2019)

По разным источникам убыток в 2018 году составил от 500 до 589 млн долл. США. При этом почти 30% от этой величины составили потери, понесенные в результате двух крупных аварий в России. Убыток в связи с аварийным запуском КА «Ангосат» составил 120 млн долл. США, а гибель пилотируемого корабля «Союз МС-10» при запуске 11 октября, привела к потерям 65 млн долл. США¹². Совокупный убыток на мировом рынке страхования космических рисков в 2019 году составил более 850 млн долл. США; объем привлеченных премий - 400 млн долл. США¹³.

Технический прогресс способствует совершенствованию используемых средств выведения. Появляются новые ракеты-носители (РН), обладающие лучшими массогабаритными характеристиками и экономичностью. На рисунке 9 представлена диаграмма, характеризующая структуру застрахованных запусков

¹² На долю России в 2018 году пришлось 30% убытков мирового рынка космического страхования [Электронный ресурс] // www.insur-info.ru [сайт]. [2019]. URL: <http://www.insur-info.ru/aerospace-insurance/press/143360/> (дата обращения 03.03.2019)

¹³ Фузик Т.В. Рынок космического страхования URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/Рынок-космического-страхования-2019.pdf>

по типу РН. С 2012 года наряду с использованием американской РН «Дельта» начинают осуществляться запуски с применением носителя тяжелого класса «Falcon-9» компании SpaceX, доля которых постепенно увеличивается.

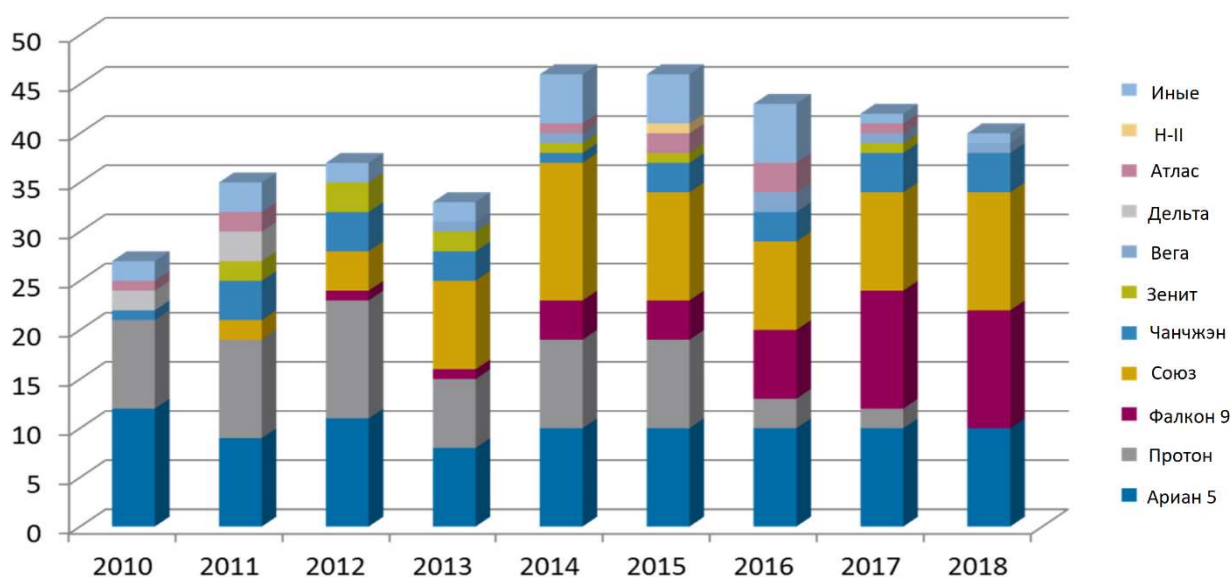


Рисунок 9 Застрахованные запуски, сгруппированные по типу ракеты-носителя

Источник: Raaks 2019 State of the space insurance market URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/02/State-of-the-Space-Insurance-Market.pdf>

Стабильно высоким остается количество запусков РН «Союз», использующейся для вывода пилотируемых космических кораблей. Увеличивается количество запусков с использованием китайской РН «Чанчжэн» в то время, как запуски РН «Протон» становятся редкими¹⁴ (в 2018 году только два запуска¹⁵, в 2019 – пять¹⁶).

По характеру целей эксплуатации спутники можно классифицировать на следующие категории: военные, коммерческие, государственного назначения, гражданские и спутники двойного назначения. На ноябрь 2018 года наибольшее количество спутников являлись коммерческими – 43%, доля военных составляет 16%, двойного назначения- 14% (рисунок 10).

¹⁴ Запуски 2018 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2018]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2018/> (дата обращения 03.03.2019)

¹⁵ Там же

¹⁶ Запуски 2019 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2019]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2019/> (дата обращения 20.04.2020)

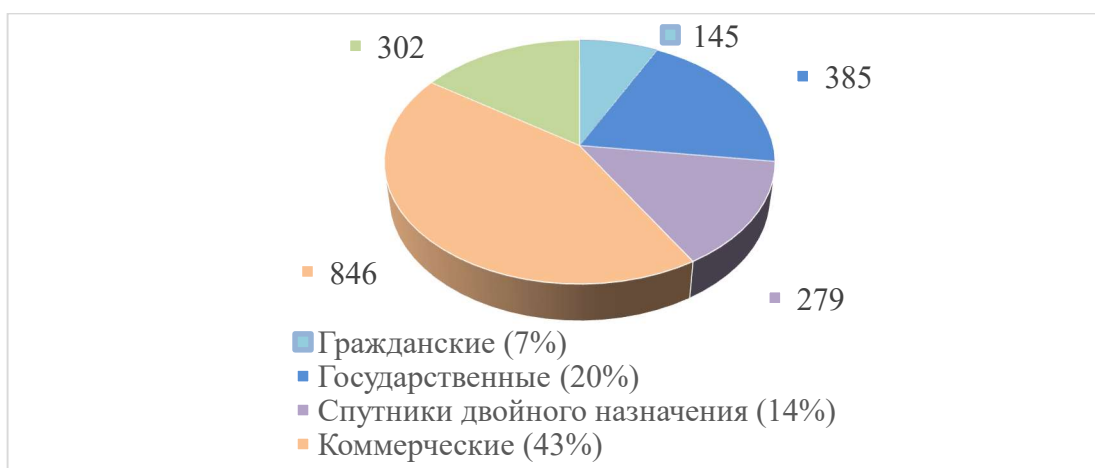


Рисунок 10 Классификация функционирующих по состоянию на ноябрь 2018 года спутников по назначению

Источник: построено автором по данным The countries with the most satellites in space // [www.statista.com](https://www.statista.com/chart/17107/countries-with-the-most-satellites-in-space/) [сайт]. URL: <https://www.statista.com/chart/17107/countries-with-the-most-satellites-in-space/> (дата обращения 03.01.2019)

На ноябрь 2018 года всего в космосе функционировало 1957 спутников (рисунок 11). Лидером по числу эксплуатирующихся спутников является США (830), далее следует Китай (280 аппаратов). У России в эксплуатации находятся 147 спутников.

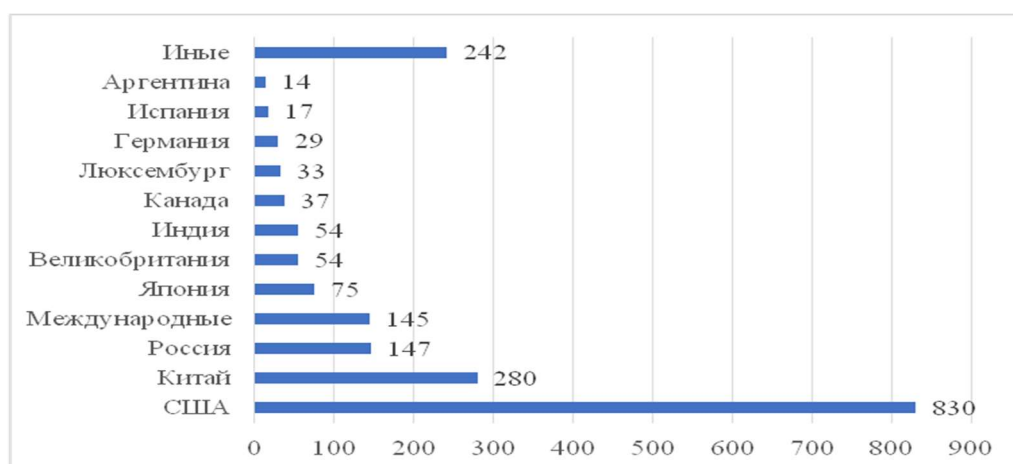


Рисунок 11 Количество и принадлежность функционирующих в космосе аппаратов на ноябрь 2018 г.

Источник: построено автором по данным The countries with the most satellites in space // [www.statista.com](https://www.statista.com/chart/17107/countries-with-the-most-satellites-in-space/) [сайт]. URL: <https://www.statista.com/chart/17107/countries-with-the-most-satellites-in-space/> (дата обращения 03.01.2019)

1.5. Особенности отечественного рынка страхования космических рисков

Прогнозная оценка перспектив развития рынка страхования космических рисков в России должна производиться с учетом ряда специфических факторов, одним из которых является относительно небольшое количество запусков в последние годы. Любая авария или нештатная ситуация при запуске или орбитальной эксплуатации обуславливает заметное ухудшение показателя надежности отечественной космической техники, инициирующее настороженность страховых компаний, вынужденных пересматривать условия предоставления страховой защиты.

До осени 2018 года отечественные страховые компании проводили достаточно лояльную ценовую политику на продукты по страхованию рисков всех категорий, связанных с запуском КА «Союз», ввиду высокой надежности этих носителей.

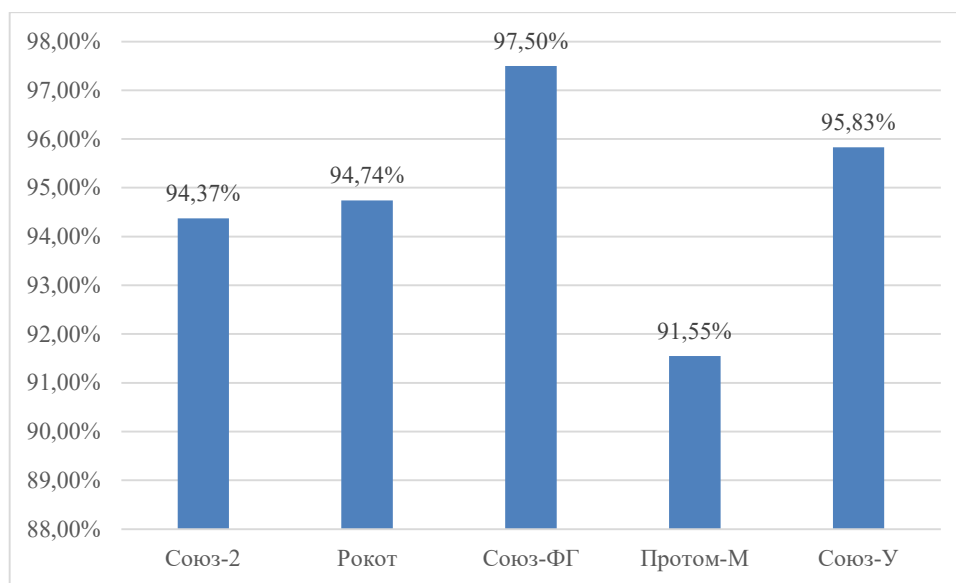


Рисунок 12 Надежность некоторых отечественных носителей за период с 2010 г. по 2019 г.

Источник: построено автором по данным Запуски 2011-2019 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2019]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

На рисунке 12 представлены данные, характеризующие надежность некоторых российских ракет-носителей за период с 2010 г. по 2019 г., используемых в том числе для реализации пилотируемых запусков. Надежность наиболее часто используемого РН «Протон -М» составляет 91,55% (71 запуск, 6 неудачных). В связи с относительно высокой долей неудачных запусков и наличием ряда претензий к производителю, страховые компании вынуждены пересмотреть тарифные ставки по страхованию космических рисков проектов с участием данного носителя¹⁷.

Сегмент страхования космических рисков характеризуется высоким уровнем концентрации. Это обусловливается значительными страховыми суммами и необходимостью достаточного запаса финансовой устойчивости компании. Крупнейшими игроками на рынке страхования соответствующих рисков в 2019 году являются СПАО «Ингосстрах», Страховая группа «Альфастрахование», ПАО СК «Росгосстрах», страховая группа «СОГАЗ», ООО «СК «Согласие»».

В последние годы российский сегмент страхования рисков космических запусков сужается. Это определяется сокращением числа космических запусков в РФ, тенденцией к снижению тарифных ставок, наблюдаемой до осени 2018 года, наличием трудностей бюрократического характера при заключении и ведении договоров страхования космических рисков и ограничением доступа к перестраховочным емкостям из-за наличия международных санкций.

Специфика размещения космических рисков заключается в индивидуальном подходе к оценке, проработке условий договора и тарификации страхового продукта. Ввиду высокой стоимости космической техники наступление страхового случая, как правило, приводит к существенному ущербу. Процедура урегулирования убытка достаточно продолжительна, поэтому на

¹⁷ Авиация и космос: ключевые тренды в страховании // <http://www.insur-info.ru> [сайт]. [2017] URL: <http://www.insur-info.ru/interviews/1167/> (дата обращения 24.03.2019)

финансовый результат могут влиять страховые выплаты, связанные с урегулированием убытков предыдущих периодов¹⁸.

Потеря космического аппарата «Союз МС-10» в октябре 2018 года прервала серию успешных космических запусков отечественной пилотируемой космонавтики, нанесла заметный репутационный удар по космической промышленности и стала неприятной неожиданностью для страхового рынка космических рисков¹⁹.

На рисунках 13 и 14 приведены данные, характеризующие структуру российского рынка страхования космических рисков в 2019 и 2018 годах. Из анализа приведенных данных можно сделать вывод о том, что авария пилотируемого космического корабля «Союз МС-10» наряду с крупными убытками предыдущих лет, обусловила значительные структурные изменения в сегменте страхования космических рисков.



Рисунок 13 Структура страхового космического рынка в РФ в 2019 году

Источник: построено автором по данным «Обзор космических рисков» [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2019]. URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/ОБЗОР-СТРАХОВАНИЯ-КОСМИЧЕСКИХ-РИСКОВ-2019.pdf> (дата обращения 20.03.2020)

¹⁸ Страховой рынок в России в 2016 году // <http://www.ra-national.ru> [сайт]. [2017] URL: http://www.ra-national.ru/sites/default/files/analytic_article/Аналитический%20обзор-%20страховой%20рынок%20-2016.pdf (дата обращения 24.03.2019)

¹⁹ Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страховое дело 2019. № 6, С.19-26

По итогам 2019 года лидером в сегменте остается Страховая группа «СОГАЗ», увеличившая долю своего присутствия на рынке с 42% до 60% в том числе за счет полного приостановления деятельности по страхованию космических рисков СК «ВТБ Страхование». На 7% сократилась доля СПАО «Ингосстрах». Вдвое уменьшилась доля ООО СК «Согласие» по причине гибели КА Союз МС-10, страхование рисков которого осуществляла данная страховая компания. Новым игроком в сегменте страхования космических рисков стало ПАО «СК «Росгосстрах». Доля рынка составила 7%.

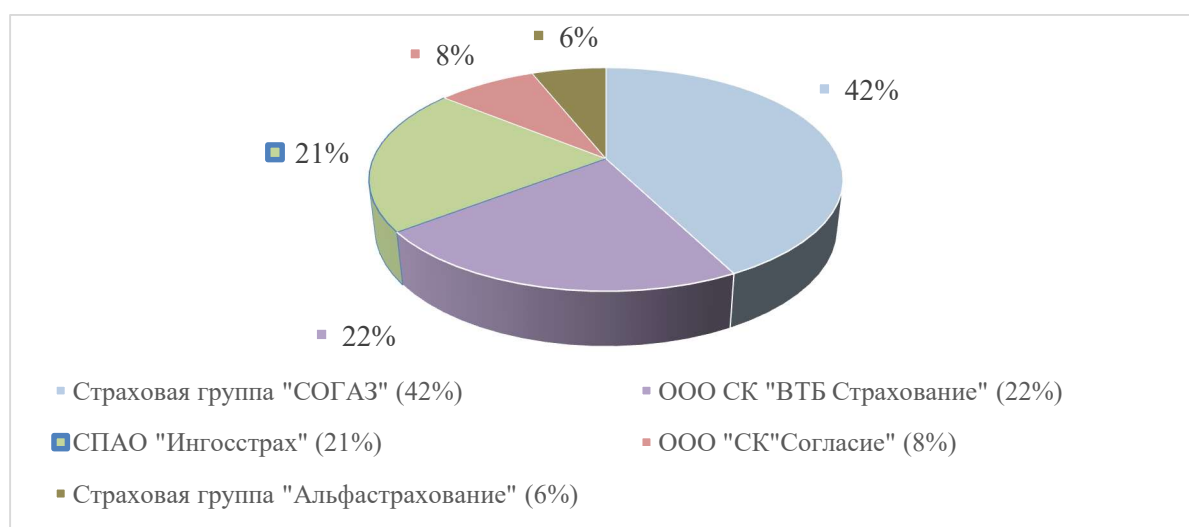


Рисунок 14 Структура страхового космического рынка в РФ в 2018 году

Источник: построено автором по данным «Обзор страхования космических рисков» URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/ОБЗОР-СТРАХОВАНИЯ-КОСМИЧЕСКИХ-РИСКОВ-2019.pdf> (дата обращения 20.03.2020)

Предыдущие потери КА также негативно влияли на доверие страховых компаний к отечественным космическим проектам. Так, авария при запуске ракеты-носителя «Протон-М» с мексиканским КА Mexsat-1 в 2015 году обусловила увеличение страховых тарифов до 10,5%. Спустя два года этот показатель достиг 13% после того, как были обнаружены дефекты второй и третьей ступеней носителя, и производитель был вынужден отозвать партию двигателей. Наиболее существенное снижение тарифных ставок в рамках

общемировой тенденции произошло на запуски РН семейства «Союз»²⁰. Однако результатом аварийного запуска РН «Союз-У» с грузовым кораблем «Прогресс МС-04» в конце 2016 года стало понимание того, что страхование подобных проектов осуществлялось по заниженным ставкам, которые не соответствовали минимальному уровню рентабельности. Ожидаемой реакцией страхового рынка на неудачных запуск стало увеличение тарифа с 4-4,5% до 5,5-6,5%²¹.

На основе анализа данных портала государственных закупок можно рассчитать оценочное значение величины тарифной ставки по страхованию рисков запуска пилотируемого космического аппарата «Союз МС-10». Риски запуска и стыковки КА были застрахованы в СК «Согласие» на сумму 4,65 млрд рублей. Страховая премия составила 143,3 млн рублей²². Таким образом, страховой тариф составил примерно 3,08%, что значительно ниже среднего мирового уровня тарифных ставок по страхованию рисков запуска (рисунок 5), а также ставок по страхованию запусков РН семейства «Союз», действующих ранее²³.

Однако выплата страхового возмещения в связи с гибелью КА «Союз МС-10» стала не единственным на тот момент обязательством страхового рынка перед ракетно-космической промышленностью. В ООО СК «ВТБ Страхование» и страховой группе «СОГАЗ» на стадии урегулирования находился убыток, связанный с потерей спутника «Ангосат», оцениваемый в 7,5 млрд руб. Кроме того, осенью 2018 года была выплачена страховая сумма в связи с аварией гидрометеорологического КА «Метеор-М» в размере 2,5 млрд руб.²⁴. Таким образом, в связи с реализацией трех страховых событий, страховщики обязаны выплатить 14,65 млрд руб., в то время как страховая премия по трем договорам

²⁰ Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страхование дело 2019. № 6, С.19-26

²¹ Григорьева Е. «Неземные риски» - Тематическое приложение к ежедневной деловой газете РБК, 12 апреля, 2017, №064 (2561)

²² «Согласие» назвало рекордную потенциальную выплату по страховке за «Союз» [Электронный ресурс] // www.rbc.ru [сайт]. [2018]. URL:<https://www.rbc.ru/society/11/10/2018/5bbf4d959a79470254335e91>(дата обращения 24.03.2019)

²³ Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страхование дело 2019. № 6, С.19-26

²⁴ Страховщики заплатят «Роскосмосу» за последние три аварии 15 млрд рублей [Электронный ресурс] // www.rbc.ru [сайт]. [2018]. URL: https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5bc9a8339a79475d2209cc3a?from=materials_on_subject(дата обращения 24.03.2019)

страхования составила около 1 млрд руб. Значение средней ставки страхования трех запусков составляет 6,8%²⁵

Сложившаяся ситуация со всей очевидностью проиллюстрировала недостаточную величину используемых страховых тарифов. Действительно, при тарифе 3,5% можно допустить наличие одной аварии на тридцать запусков²⁶, а в конце 2018 года статистика была совсем иная.

Авария КА «Союз МС-10» обусловила также пересмотр подходов к перестрахованию рисков российских космических проектов. В последнее время российский страховой сегмент в соответствующей области достаточно активно сотрудничает с Китаем. Сумма предоставляемой им перестраховочной емкости составляла около 30 млн долл. США. Неудачные запуски 2018 года стали причиной пересмотра участия китайской стороны в перестраховании рисков отечественной космонавтики. Сначала китайские перестраховщики отказались принимать российские риски, а затем возобновили участие в перестраховании со снижением емкости до 10 млн долл. США²⁷.

По итогам 2018 года Российская национальная перестраховочная компания отказалась от участия в перестраховании рисков отечественных космических проектов, не попадающих под санкционные ограничения или не выполняемых в военных целях в 2019 году²⁸. Это решение связано с высоким уровнем убыточности по «несанкционным космическим рискам». На рисунке 15 приведен график изменения убыточности РНПК за период с 2017 г. по 2018 г. по сегментам. Убыточность по рискам космических проектов в 2018 году составила примерно 435%. Для сравнения, в 2017 году этот показатель был на уровне 75%²⁹.

²⁵ Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страховое дело 2019. № 6, С.19-26

²⁶ Рисковые поля: почему цена страховки для «Роскосмоса вырастет» [Электронный ресурс] // www.banki.ru [сайт]. [2018]. URL: <https://www.banki.ru/news/bankpress/?id=10727636> (дата обращения 24.03.2019)

²⁷ Китай готов перестраховать российские космические пуски в 2019 г на \$10 млн [Электронный ресурс] // www.insur-info.ru [сайт]. [2019]. URL: <http://www.insur-info.ru/press/143388/>(дата обращения 06.04.2019)

²⁸ РНПК откажется от перестрахования российских космических запусков в 2019 году [Электронный ресурс] // www.finmarket.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.finmarket.ru/insurance/?nt=0&id=4910216>(дата обращения 06.04.2019)

²⁹ Структура портфеля убытков АО РНПК по состоянию на 31.12.2018 [Электронный ресурс] // www.rnrc.ru[сайт]. [2019]. URL: <https://rnrc.ru/upload/doc-ru/analytics/rnrc-analytics/portfolio-of-losses-2018.pdf>(дата обращения 06.04.2019)

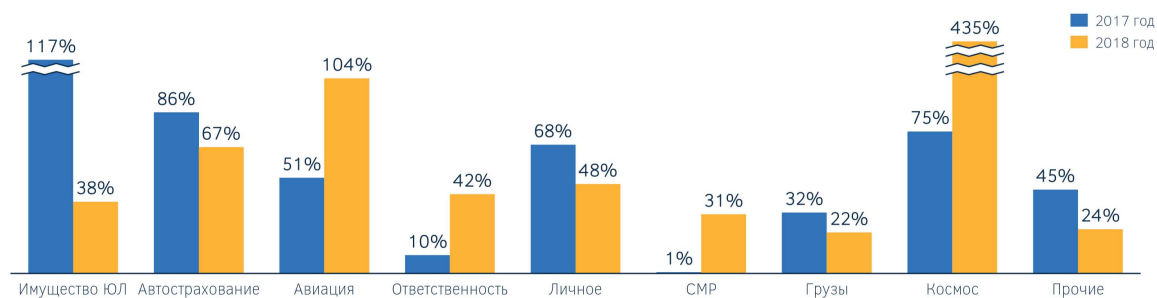


Рисунок 15 Убыточность РНПК в 2017 и 2018 годах по сегментам

Источник: Структура портфеля убытков АО РНПК по состоянию на 31.12.2018
 URL: <https://rnrc.ru/upload/doc-ru/analytics/rnrc-analytics/portfolio-of-losses-2018.pdf>
 (дата обращения 06.04.2019)

Резкое увеличение показателя убыточности объясняется осуществленной выплатой в связи с гибелью спутника Ангосат (1,115 млрд руб.) и потерей РН «Союз» (930 млн руб.)³⁰.

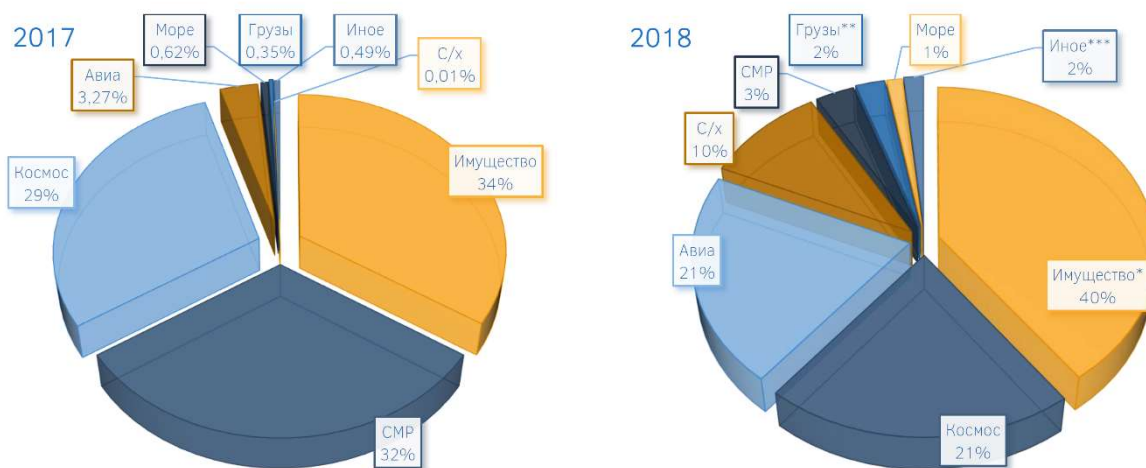


Рисунок 16 Объем резерва заявленных убытков и выплат РНПК в 2017 и 2018 годах

Источник: : Структура портфеля убытков АО РНПК по состоянию на 31.12.2018
 URL: <https://rnrc.ru/upload/doc-ru/analytics/rnrc-analytics/portfolio-of-losses-2018.pdf>
 (дата обращения 06.04.2019)

³⁰ Там же

На рисунке 16 представлены данные, характеризующие объем резерва заявленных убытков (РЗУ) и осуществленных выплат Российской национальной перестраховочной компании в 2017 и 2018 годах. Из анализа приведенных данных можно сделать вывод о том, что в 2018 году портфель РНПК стал более диверсифицированным. Несмотря на это, доля убытков по космическим рискам составил более пятой части всего портфеля. Объем РЗУ в 2017 – 2018 гг. по сегменту страхования космических рисков был равен 1,53 млрд руб., в то время как объем выплат – более 659 млн руб.³¹.

Сложившаяся ситуация на рынке страхования и перестрахования рисков ракетно-космической деятельности привела к нежеланию страховых компаний осуществлять взаимодействие с государственной корпорацией «Роскосмос» в части предоставления страховой защиты на прежних условиях с использованием низких тарифных ставок. Так, если изначально запуск «Союз- ФГ» с транспортным кораблем «Прогресс МС-10», состоявшийся 16 ноября 2018, планировалось застраховать на 3,2 млрд руб. (3 млрд руб.- страхование грузового корабля, 200 млн руб.- груза) при цене контракта в 116,5 млн руб.³² (страховой тариф- 3,6%), позднее страховая премия была увеличена до 259,6 млн руб.³³, т.е. страховой тариф незначительно превысил 8%. Аналогичная ситуация имела место в процессе проведения тендера на оказание страховых услуг по запуску РН «Союз 2.1б» с КА «Глонасс-М». Запуск был застрахован на 2,095 млрд руб. при величине страховой премии 201,1 млн руб., на 23 млн руб. большей первоначальной цены контракта³⁴. Страховой тариф был увеличен с 8,5% до 9,5%³⁵.

³¹ Там же

³² Рисковые поля: почему цена страховки для «Роскосмоса вырастет» URL: <http://www.banki.ru/news/bankpress/?id=10727636> (дата обращения 24.03.2019)

³³ Общие сведения о закупке №31807107025 [Электронный ресурс] // www.zakupki.gov.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-info.html?regNumber=31807107025> (дата обращения 15.04.2019)

³⁴ Общие сведения о закупке №31807102454 [Электронный ресурс] // www.zakupki.gov.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-info.html?regNumber=31807102454> (дата обращения 15.04.2019)

³⁵ Коротева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страховое дело 2019. № 6, С.19-26

Несмотря на то, что в 2019 стал безаварийным для российской ракетно-космической отрасли, три аварии зарубежных КА (Vega, ChinaSat 18 и EutelSat 5WB) обусловили сокращение мировой перестраховочной емкости и рост тарифов на перестрахование.

Таким образом, для российского сегмента страхования космических рисков существует необходимость пересмотра принципов тарифообразования и коррекции процедуры их оценки. Потребность в более точных расчетах вероятности наступления страховых случаев и связанного с ними ущерба становится особенно актуальной в условиях небольшого количества стартов и создания принципиально новых космических аппаратов и систем.

ГЛАВА 2. Специфика страхования рисков ракетно-космической отрасли

2.1. Риски, связанные с реализацией космического проекта

2.1.1. Понятия космической деятельности и космического проекта

Понятие, цели и принципы осуществления космической деятельности регламентируются национальным законодательством государства, осуществляющего какие-либо действия, связанные с освоением космического пространства. В конвенции Европейского космического агентства (ESA) указано, что в его ведении находится деятельность, связанная в том числе с осуществлением космических программ, подразумевающих проектирование, разработку, создание, запуск, вывод на орбиту и управление спутников, космических транспортных систем и иных космических объектов³⁶.

В законе о национальной авиации и космосе, на который в своей деятельности ориентируется Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (NASA) под космическим проектом понимается проект (или совокупность отдельных проектов), предполагаемые к осуществлению в течение финансового года, основной задачей которых является развитие коммерческой инфраструктуры космического транспорта³⁷.

В Российской Федерации космическая деятельность регулируется законом № 5663-1 от 20.08.1993 «О космической деятельности». Согласно положениям данного нормативного акта под космической деятельностью следует понимать деятельность, «связанную с непосредственным проведением работ по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела...». Космическая деятельность включает в себя создание (в том числе разработку, изготовление и испытания), использование (эксплуатацию) космической техники, космических материалов и космических технологий и оказание иных связанных с космической деятельностью услуг, а также

³⁶ ESA convention and council rules of procedures // [Электронный ресурс]. // <https://www.esa.int> [сайт]. URL: https://esamultimedia.esa.int/docs/LEX-L/ESA-Convention/SP-1317_EN.pdf (дата обращения 18.05.2019)

³⁷ National and commercial space programs // [Электронный ресурс]. / www.nasa.gov [сайт]. URL: https://www.nasa.gov/offices/ogc/about/space_act1.html (дата обращения 18.05.2019)

использование результатов космической деятельности и международное сотрудничество Российской Федерации в области исследования и использования космического пространства»³⁸.

Направлениями космической деятельности являются: проведение научных космических исследований; использование космических систем с целью обеспечения связи, теле- и радиокommunikаций; использование навигационных систем; осуществление зондирования Земли; выполнение пилотируемых космических полетов; поддержание и развитие системы обороны государства; осуществление наблюдений за космическими процессами и явлениями; проведение испытаний техники в условиях космоса; производство в космосе продукции и др. ³⁹. Космическая деятельность осуществляется в соответствии с космической программой, определяющей долгосрочные ориентиры развития ракетно-космической промышленности, а также цели и задачи освоения космического пространства. На основе положений космической программы осуществляется планирование государственного заказа в целях реализации космических проектов определенных направленностей.

Как следует из нормативов, изложенных в ГОСТ Р 54869-2011 "Проектный менеджмент", под проектом понимается «комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленный на создание уникального продукта или услуги в условиях временных и ресурсных ограничений»⁴⁰. Данное определение справедливо для понятия космического проекта в широком его понимании.

В современных литературных источниках приводится большое количество авторских определений понятию космического проекта. В широком смысле оно трактуется В.А. Волковым как совокупность взаимосвязанных мероприятий, направленных на создание изделий ракетно-космической техники с учетом

³⁸ Закон РФ «О космической деятельности» от 20.08.1993 № 5663-1 // [Электронный ресурс]. // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3219/a10ee843c99cf48ced68275b23f8fd19ee0d870f/ (дата обращения: 19.05.2019)

³⁹ Там же

⁴⁰ "ГОСТ Р 54869-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.12.2011 N 1582-ст) [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=16204#035662002008702953> (дата обращения 18.05.2019)

ресурсных ограничений⁴¹. В работах Д.А. Медведчикова это проект, выполняемый с целью разработки, проектирования, использования и передачи изделий ракетно-космической техники, объектов инфраструктуры, космических технологий, продукции и услуг с использованием ракетно-космических аппаратов и систем; осуществления пусков космических объектов; реализации международных проектов, а также проектов, связанных с эксплуатацией и предоставлением услуг с использованием космических объектов⁴².

На сегодняшний день цели и задачи любого космического проекта, осуществляемого в России, вне зависимости от источника финансирования соответствуют одному или нескольким направлениям космической деятельности, закрепленными в национальном законодательстве. В этой связи, представляется целесообразным трактовать космический проект с учетом предполагаемого содержания работ, необходимых для выполнения миссии конкретного запуска, т.е. как комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных мероприятий, осуществляемых для развития одного или нескольких направлений космической деятельности, в частности: проведения научного исследования, в том числе с участием экипажа пилотируемых аппаратов; обеспечения и поддержания функционирования коммуникационной и навигационной инфраструктуры; зондирования Земли; выполнения оборонных задач; осуществления наблюдений за космическими явлениями; поддержания жизнедеятельности и жизнеобеспечения Международной космической станции и ее экипажа; испытаний технических систем в космических условиях; производства новых материалов и иной продукции в космосе.

Проекты можно классифицировать с учетом различных критериев по:

- масштабам: малый, средний, крупный и мегапроект;
- срокам реализации: краткосрочный среднесрочный и долгосрочный;

⁴¹ Волков В.А., Баев Г.О., Орлов А.И., Фалько С.Г. «Требования и оценка реализуемости проектов создания изделий ракетно-космической техники» // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2014, С. 939-958

⁴² Медведчиков Д.А. Космический проект, его участники, космические риски и ущербы [Электронный ресурс]. // www.space-ins.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/kategoria2/19-spaceproject.html> (дата обращения 18.05.2019)

- составу участников: международный (совместный) и отечественный (государственный);
- направленности: научно-технический, организационный, экономический, социальный, смешанный;
- классу: монопроект, мультипроект, мегапроект;
- географическому и ведомственному признакам: международный, национальный, межотраслевой, отраслевой, корпоративный, ведомственный проект⁴³.

2.1.2. Жизненный цикл космического проекта

Осуществление любого проекта подразумевает последовательное выполнение определенных этапов и стадий, характеризующихся номенклатурой работ, требованиями, предъявляемыми к объему необходимых ресурсов, качеству и сроку выполнения операций⁴⁴. Совокупность всех этапов реализации проекта определяет его жизненный цикл (ЖЦ). Структура жизненного цикла зависит от: масштаба проекта, возможностей доступа к ресурсам, поставленных целей и задач, сроков исполнения, квалификации персонала, привлекаемого к выполнению работ и т.д. Рассматриваются две основных модели жизненных циклов проекта: предиктивная и адаптивная⁴⁵.

Предиктивная модель жизненных циклов характеризуется формулированием цели, задач, структуры проекта, последовательности предстоящих работ и сроков их исполнения, а также способов финансирования на самом раннем этапе проекта. Все предполагаемые этапы разделяются на множество более мелких, последовательное выполнение которых гарантирует получение изначально намеченного результата⁴⁶. Четкое определение основных параметров в самом начале реализации проекта позволяет придерживаться строго намеченного плана, прогнозировать объем предстоящих работ и их сложность, а

⁴³ Серикова Е.Н. Ястребова В.А. Космические проекты: понятие, классификация и особенности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017, Т.3, С. 126-128

⁴⁴ Новиков Д.А., Нижегородцев Р.М., Гонтарева И.В. Управление проектами. М.: Либроком, 2009. 384 с.

⁴⁵ Руководство к Своду знаний по управлению проектами: (руководство РМВОК) [перевод]. 5-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2014, 586 с.

⁴⁶ Там же, С.26

также упрощает систему мониторинга качества выполнения отдельных операций. Одним из основных недостатков этого подхода является отсутствие возможности реагировать на изменения, происходящие во внешней среде, что может повлиять на качество конечного продукта и степень его востребованности потребителем.

Адаптивная модель жизненных циклов предполагает возможность внесения изменений в намеченный план реализации проекта. Гибкость подхода позволяет подстраиваться под изменяющиеся факторы, значимые для успешного осуществления проекта.

Существует множество различных подходов к определению этапов жизненного цикла проекта. Наиболее универсальное определение стадий жизненного цикла проекта включает в себя следующие этапы:

1. инициализация (прединвестиционный этап);
2. этап планирования (разработки проекта);
3. производственный этап;
4. завершающий этап⁴⁷.

Каждый из перечисленных этапов предполагает выполнение множества операций, содержание которых, как правило, определяет уникальность проекта.

Существует смешанный тип ЖЦ. Такой тип жизненного цикла сочетает отдельные характеристики предиктивного и адаптивного. «Те элементы проекта, которые хорошо изучены или имеют заранее установленные требования, осуществляются по предиктивному жизненному циклу развития, а те, которые находятся в состоянии формирования – по адаптивному жизненному циклу развития»⁴⁸.

Процесс управления жизненным циклом проекта во многом зависит от категории проекта. Рассел Д. Арчибальд выделяет десять основных категорий:

⁴⁷ Руководство к Своду знаний по управлению проектами: (руководство РМВОК) [перевод]. 5-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2014, 586 с.; Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд ; Пер. с англ. Мамонтова Е. В. ; Под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. 462 с.; Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В. Жизненный цикл космического проекта // Успехи современной науки и образования, 2016, Т.3, №7, С.27-31

⁴⁸ Руководство к Своду знаний по управлению проектами: (руководство РМВОК) [перевод]. 5-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2014. С.27

- аэрокосмические/ оборонные проекты;
- проекты, нацеленные на организационное развитие и оптимизацию бизнес-процессов;
- проекты коммуникационных систем;
- проекты событий;
- проекты в сфере капитального строительства;
- проекты информационных систем;
- проекты международного развития;
- культурно-массовые и развлекательные проекты;
- разработка продукта или услуги;
- проекты НИОКР

Жизненные циклы проектов одной категории имеют схожие черты, но подходы к управлению отдельными этапами могут варьироваться в зависимости от сложности проекта, его объема, наличия внешнего или внутреннего заказчика, степени его вовлеченности в реализацию проекта, уровня риска. Под сложностью проекта Рассел Д. Арчибальд понимает разнообразие целей и задач, сформулированных при инициализации проекта, а также число внешних компаний, привлеченных к его реализации. Объем проекта характеризуется количеством необходимых для его выполнения ресурсов, а также их доступностью, содержанием и географией работ. Если проект должен быть выполнен по договору с внешним заказчиком, возможным является возникновение дополнительных рисков и временных задержек, обусловленных необходимостью дополнительных согласований, отсутствием возможности оперативного обсуждения изменений и иными причинами. Степень риска различается в зависимости от категории проекта и определяется многими факторами: сроками выполнения, сложностью и объемом, необходимостью разработки и применения инноваций (степенью новизны проекта),

государственным регулированием отдельных процедур, изменчивостью экономической конъюнктуры и политической ситуации и пр.⁴⁹.

Описанные стадии жизненного цикла проекта и особенности выполнения его этапов базируются на общей методологии проектного менеджмента. При выстраивании жизненного цикла космического проекта учитываются особенности разработки, проектирования и производства космических объектов, доступность требуемых ресурсов, планирование финансовых потоков и др. В этой связи общепринятые концепции выстраивания жизненного цикла проекта требуют уточнения. Наиболее полно вопросы организации жизненного цикла космического проекта рассматриваются в методиках NASA и ESA.

Согласно подходу Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства, жизненный цикл космического проекта предполагает выполнение следующих фаз (рисунок 17).

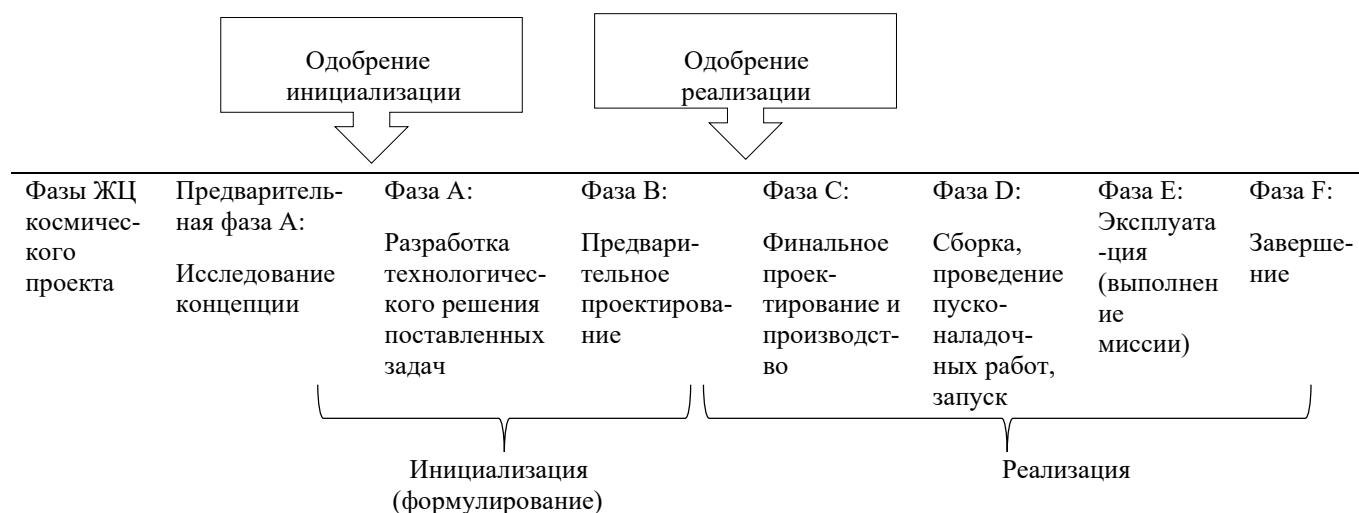


Рисунок 17 Схема жизненного цикла космического проекта НАСА

Источник: построено автором по данным NPR 7120.5E – NASA Space Flight Program and Project Management Requirements [Электронный ресурс] // www.nasa.gov [сайт]. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/n_pr_7120_005e_.pdf (дата обращения: 08.11.2019)

⁴⁹ Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд ; Пер. с англ. Мамонтова Е. В. ; Под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. С. 66- 82

Американский подход подразумевает использование двухуровневой градации. Осуществление проекта состоит из стадий его инициализации и реализации. Так как начало проекта соответствует моменту появления необходимости его осуществления, стадии инициализации предшествуют предварительные мероприятия, направленные на исследование целесообразности, перспектив и альтернативных вариантов осуществления проекта. Стадия инициализации предполагает реализацию:

- комплекса мероприятий и процессов, связанных с оценкой технических и технологических требований проекта, рисков и затрат на его осуществление;
- предварительное проектирование систем и узлов;
- оценку необходимости внесения изменений в программное обеспечение будущего космического объекта;
- моделирование и изготовление опытных образцов;
- проведение наземных испытаний систем и др.

Кроме того, разрабатывается система взаимообусловленных и взаимосвязанных показателей эффективности функционирования космического аппарата, а также прорабатываются возможные сценарии отклонения характеристик функционирования элементов, систем и узлов от номинальных значений.

Стадия реализации включает:

- производственные процессы;
- логистические операции;
- выполнение пуско-наладочных работ;
- запуск и мониторинг начальной стадии полета КА;
- орбитальную эксплуатацию аппарата;
- сбор, систематизацию, обработку и анализ данных, полученных по результатам работы КА⁵⁰.

Методология Европейского космического агентства выделяет семь фаз жизненного цикла проекта (таблица 2).

⁵⁰ Там же

Таблица 2 Жизненный цикл космического проекта согласно ESA

Номер фазы	Название	Содержание
Фаза 0	Анализ миссии, идентификация целей	Формулирование целей и задач миссии космического запуска с учетом требований безопасности Анализ возможных альтернатив реализации проекта Формулирование целевых показателей функционирования КА Проведение предварительной оценки рисков
Фаза А	Обоснование целесообразности и реализуемости проекта	Оценка технической и программной осуществимости возможных концепций путем выявления ограничений, связанных с затратами, сроками выполнения отдельных операций и пр. Утверждение предварительного плана управления проектом Утверждение плана проведения инженерно-конструкторских работ Анализ значимых для осуществления проекта технологий и проведение мероприятий, предшествующих разработке новых технологичных решений Проведение количественного обоснования технической и экономической целесообразности осуществления проекта Разработка системы оценки рисков
Фаза В	Предварительное определение	Определение технических и технологических возможностей реализации проекта Разработка технических предложений Определение бюджета и способов финансирования Оценка надежности и безопасности проекта Проведение дополнительной оценки рисков
Фаза С	Детализированное определение	Разработка эскизных проектов Проведение контрольных испытаний ключевых элементов и узлов Проведение дополнительной оценки рисков
Фаза D	Производство	Осуществление полного производственного цикла и испытаний летного оборудования и программного обеспечения и систем наземной поддержки Тестирование совместимости между космическим и наземным сегментами
Фаза Е	Эксплуатация/ Утилизация	Осуществление мероприятий по подготовке к КА к запуску Осуществление пуска Осуществление процедур, связанных с проверкой функционирования систем на орбите Выполнение миссии и осуществление необходимой наземной поддержки
Фаза F	Завершение проекта	Осуществление плана мероприятий по завершению эксплуатации КА (захоронение, увод на более высокую орбиту и др.)

Источник: ECSS-M-ST-10C Rev. 1 – Space project management. Project planning and implementation, ESA, ESA Requirements & Standards Division, ESTEC, Noordwijk, Netherlands. 6 March 2009 // [Электронный ресурс] // www.skatelescope.org [сайт]. URL:https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/ECSS-M-ST-10C_Rev.1%286March2009%29.pdf

Результаты сравнительного анализа американского и европейского подходов к выстраиванию жизненного цикла космического проекта свидетельствуют о том, что в методике ESA особое значение уделяется формированию системы оценки и постоянному мониторингу рисков. Это связано с возможностью изменения приоритетов учета тех или иных рисков в процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Американский подход также предполагает проведение оценок соответствующих рисков, однако характеризуется меньшей заформализованностью.

Среди отечественных авторов, занимающихся исследованием жизненного цикла проектов наукоемких отраслей, включая ракетно-космическую, можно выделить Ю.А. Анищенко, Г.П. Беякова, В.А. Волкова, С.В. Володина, М.В. Сафронова.

В.А. Волковым выстраивание жизненного цикла изучается в контексте управления реализуемостью космического проекта. На основе программно-целевого планирования и комплексного подхода, учитывающего взаимообусловленные процессы и ресурсы, требуемые для достижения поставленных целей, автор обосновывает необходимость учета и совершенствования методик оценки стоимости на всех этапах ЖЦ ракетно-космического комплекса⁵¹. Ракетно-космический комплекс – это «совокупность комплексов ракеты-носителя, разгонного блока и космического аппарата, предназначенная для запуска орбитального средства»⁵². Жизненный цикл его создания объединяет этапы проведения научно-исследовательской и опытно-

⁵¹ Волков В.А. Методы оценки и управления реализуемостью проектов по созданию ракетно-космической техники / В.А. Волков // дисс. канд. экон. наук Волкова В.А.: 08.00.05: защищена 22.01.02: утв. 15.07.02. — М., 2015. — 149 с.

⁵² ГОСТ Р 51282-99. Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов. Нормы проектирования и испытаний (утв. и введен в действие Приказом Госстандарта от 21.05.1999 N 172) [Электронный ресурс] // www.garant.ru [сайт]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/basesearch/Оборудование%20технологическое%20стартовых%20и%20технических%20комплексов%20ракетно-космических%20комплексов.%20Нормы%20проектирования%20и%20испытаний:0> (дата обращения 07.07.2019)

конструкторской работы, производства, эксплуатации, а также капитального строительства элементов наземной космической инфраструктуры⁵³.

С.В. Володин проводит сравнительный анализ российского и зарубежного подходов к определению жизненного цикла сложных наукоемких проектов на примере авиационной и ракетно-космической отраслей. За основу отечественной модели жизненного цикла автор принимает декомпозицию этапов, рекомендованную ГОСТ 2.103-68 ЕСКД «Стадии разработки». Основные этапы и их содержание приведены в таблице 3.

Таблица 3 Стадии разработки и содержание работ

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
Техническое предложение	Подбор материалов.
	Разработка технического предложения
	Рассмотрение и утверждение технического предложения.
Эскизный проект	Разработка эскизного проекта
	Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости).
	Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.
Технический проект	Разработка технического проекта
	Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости).
	Рассмотрение и утверждение технического проекта.
Рабочая конструкторская документация:	Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии).
а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)	Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии).
	Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии).
	Приемочные испытания опытного образца (опытной партии).
	Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии).
	Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) и

⁵³ Волков В.А. Методы оценки и управления реализуемостью проектов по созданию ракетно-космической техники / В.А. Волков // дисс. канд. экон. наук Волкова В.А.: 08.00.05: защищена 22.01.02: утв. 15.07.02. — М., 2015. — 149 с

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
	корректировка конструкторских документов.
б) серийного (массового) производства	Изготовление и испытание установочной серии по документации.
	Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия.
	Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - изготовление и испытание головной (контрольной) серии по документации и соответствующая корректировка документов.

Источник: ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки (с Изменениями №1, 2, с Поправкой) (утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР в декабре 1967 г.; введен в действие 1971-01-01) [Электронный ресурс] // www.docs.cntd.ru [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001990> (дата обращения 09.07.2019)

На рисунке 18 представлена поэтапная схема реализации космических проектов и программ в соответствии с российским и зарубежными стандартами. Основное отличие заключается в том, что отечественные стандарты и положения не регламентируют содержание работ на начальных стадиях проекта⁵⁴, связанных с обоснованием реализуемости концепции и осуществлением исследовательских мероприятий, сопровождающихся в ряде случаев необходимостью разработок инновационных решений. Кроме того, в американской системе особое внимание уделяется подготовке экспертных заключений по результатам работ на каждой из стадий. Проводимый таким образом поэтапный мониторинг позволяет выявлять возможные несоответствия, требующие доработки, или факты нарушений внутренних правил и процедур, приводящих к ошибкам на ранних стадиях осуществления проекта. Российская практика предполагает, что полноценное выполнение запланированных работ и мероприятий на каждом из этапов способствует достижению промежуточных показателей, позволяющих приступать к выполнению задач последующих этапов.

⁵⁴ ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки (с Изменениями №1, 2, с Поправкой). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001990>

Анализ потребностей и формирование технического задания (ТЗ)	Техническое предложение (аванпроект)	Эскизный проект	Технический (рабочий) проект	Изготовление и испытания	Эксплуатация	Снятие с эксплуатации и утилизация
Российский стандарт в ракетно-космической технике						
Pre-Phase A: Concept Studies	Phase A: Concept and Technology Development	Phase B: Preliminary Design and Technology Completion Предварительное проектирование и отработка технологии	Phase C: Final Design and Fabrication Окончательное проектирование и производство	Phase D: System Assembly, Integration and Test, Launch Сборка системы, испытания и запуски	Phase E: Operations and Sustainment Эксплуатация и поддержка	Phase F: Closeout Закрытие
Стандарт NASA						
Pre-Phase 0 Determination of mission need Определение потребностей	Phase 0 Concept exploration Исследование концепций	Phase I Definition Выбор концепции	Phase II Engineering and manufacturing development Подготовка производства и испытания		Phase III Production, fielding/deploy and operation support Изготовление, развертывание, поддержка эксплуатации, снятие с вооружения	
Стандарт министерства обороны США						
A Концептуальные исследования			B Детальная разработка		C Изготовление и развертывание	D Эксплуатация
Обоснование необходимости создания	Разработка концепции		Опытные разработки и аттестация	Проектирование		
Зарубежная практика создания сложных технических систем						

Рисунок 18 Модели жизненного цикла космических проектов

Источник: Володин С.В. Управление стадиями жизненного цикла проектов в наукоемких отрасли // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2013. №2, С. 39-47

Наиболее детально жизненный цикл космического проекта рассматривается Ю.А. Анищенко, Г.П. Беляковым и М.В. Сафроновым. Авторами предлагается достаточно подробная модель жизненного цикла (рисунок 19), состоящая из четырех фаз и девяти этапов. Структура и содержание предполагаемых работ логически обоснованы и не противоречат отечественным стандартам и положениям.

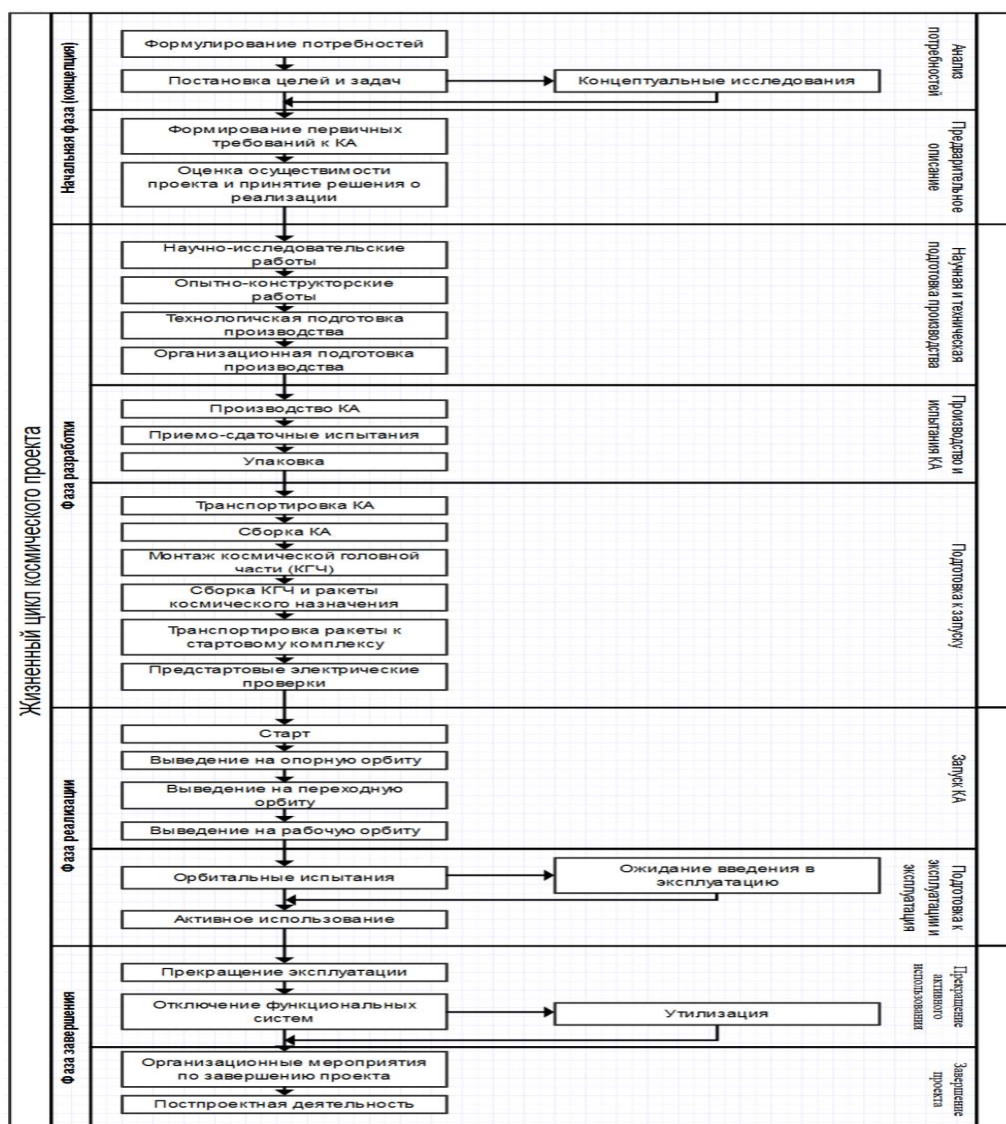


Рисунок 19 Модель жизненного цикла космического проекта

Источник: Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В. Жизненный цикл космического проекта // Успехи современной науки и образования, 2016, Т.3, №7, С.27-31

По сравнению с отечественным стандартом, регламентирующим жизненный цикл космического проекта, авторы добавляют начальный этап, связанный с выявлением потребностей, исследованием концепции и определением целей и задач. Кроме того, на этапе подготовки к эксплуатации предполагается проведение орбитальных испытаний.

2.1.3. Особенности рисков ракетно-космической техники

Одной из важных особенностей космической деятельности в части ее страхования является значительный размер возможного убытка при нештатных ситуациях, связанных с запусками и эксплуатацией КА. Это обусловлено не только потенциальной возможностью потери дорогостоящих объектов космической техники, но и вероятностью нанесения вреда жизни и здоровью персонала, повреждения объектов инфраструктуры, населению, не связанному с космической деятельностью, а также ущерба экологии. Во многих случаях траасса выведения КА на орбиту пролегает над территориями нескольких государств. При наступлении аварии урегулирование ущерба осуществляется с привлечением межгосударственных комиссий⁵⁵.

Таблица 4 Наиболее серьезные аварии, произошедшие в ракетно-космической отрасли РФ за период с 2006 по 2019 г.г.

Дата	Космический аппарат	Вид аварии	Причины аварий
28.02.2006	Арабский спутник связи "Арабсат-4А", ракета-носитель "Протон-М"	Невыход на расчетную орбиту	Человеческий фактор
29.03.2006	Спутник связи и вещания "Экспресс-АМ11"	Внезапное внешнее воздействие	Непреодолимая сила
27.07.2006	Ракета-носитель "Днепр", 18 спутников	Отказ двигателей ракеты-носителя	Заводской дефект
30.01.2007	Ракета-носитель "Зенит 3SL", спутник NSS-8	Отказ двигателей ракеты-носителя, взрыв на старте	Заводской дефект
05.09.2007	Ракета-носитель "Протон-М", спутник ISAT-11	Отказ двигателей ракеты-носителя	Заводской дефект
10.07.2008	Спутник "Космос-2441"	Отказ электроники спутника	Заводской дефект
02.03.2009	Спутник связи "Экспресс АМ-1"	Отказ систем ориентации спутника, восстановлен	Заводской дефект
11.12.2009	Научный спутник "Кронос-Фотон"	Отказ энергосистемы спутника	Заводской дефект
18.07.2010	Ракета-носитель "Протон-М"	Повреждение при перевозке	Человеческий фактор

⁵⁵ Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники // Экономический анализ: теория и практика, 2016. №5, С.29-40

Дата	Космический аппарат	Вид аварии	Причины аварий
01.08.2010	Спутник связи "Экспресс АМ-2"	Отказ систем ориентации спутника, восстановлен	Заводской дефект
06.10.2010	Союз ТМА-20	Повреждение при перевозке	Человеческий фактор
05.12.2010	Ракета-носитель "Протон-М", три спутника ГЛОНАСС	Ошибка персонала при заправке топливом	Человеческий фактор
01.02.2011	Ракета-носитель "РОКОТ", спутник "Гео-ИК-2"	Отказ электроники спутника	Заводской дефект
18.08.2011	Ракета-носитель "Протон-М", спутник связи "Экспресс АМ-4"	Сбой программы	Человеческий фактор
24.08.2011	Ракета-носитель "Союз-У", грузовой корабль "Прогресс М-12М"	Отказ двигателей	Заводской дефект
20.10.2011	Спутник "Глонасс-М №718"	Отказ оборудования	Заводской дефект
09.11.2011	Спутник "Фобос-Грунт"	Отказ электроники спутника	Заводской дефект
26.12.2011	Спутник "Меридиан"	Отказ двигателя	Заводской дефект
06.08.2012	Спутники "Экспресс-МД2", "Телком-3"	Сгиб магистрального кабеля подачи топлива	Заводской дефект
01.02.2013	Спутник "Интелсат-27", ракета-носитель "Зенит"	Нештатное отключение двигателя ракеты-носитель "Зенит"	Заводской дефект
02.07.2013	Три спутника "Глонасс-М", ракета-носитель "Протон-М"	Ошибка при сборке	Человеческий фактор
22.08.2014	Два спутника "Галилео", ракета-носитель "Союз-СТБ"	Авария двигателя	Заводской дефект
28.04.2015	"Прогресс-М-27М"	Отказ двигателя	Заводской дефект
16.05.2015	Спутник "Мексат", ракета-носитель "Протон-М"	Конструктивный недостаток вала ротора турбонасосного агрегата третьей степени	Заводской дефект
01.12.2016	"Прогресс-МС04"	Нештатное отключение двигателя третьей ступени ракеты-носителя	Заводской дефект
28.11.2017	"Метеор-М" №2-1, ракета-носитель "Союз-2.1б"	Авария разгонного блока	Заводской дефект
11.10.2018	Пилотируемый запуск "Союз-МС10"	Некорректная работа датчика разделения ступеней	Заводской дефект

Источник: Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники. С.36, дополнена автором

В таблице 4 приведены данные, характеризующие наиболее серьезные аварии в отечественной ракетно-космической отрасли за период с 2006 по 2019 годы и причины их возникновения. Е.Ю. Хрусталёвым, А.С. Славяновым и О.Е. Хрусталёвым предложено классифицировать причины возникновения аварий космической техники по трем группам: воздействие непреодолимой силы, заводские дефекты, человеческий фактор.

Под воздействием непреодолимой силы следует понимать форс-мажорные обстоятельства, чрезвычайные и непреодолимые в данных условиях события, ситуации ранее неизученные или плохо изученные. Применительно к эксплуатации ракетной техники такими обстоятельствами могут стать сближение или столкновение с иными космическими объектами и телами, а также изменение солнечной активности, повлекшее непрогнозируемое изменение электромагнитного излучения⁵⁶. Такая авария привела к потере военного спутника «Космос-2441» из-за отказа радиоэлектроники, обусловленного воздействием космического излучения⁵⁷.

Значительное число аварий происходит по причине ненадлежащего отношения к выполнению обязанностей персоналом ракетно-космической отрасли (неточности и ошибки при изготовлении, несогласованность действий при проведении мероприятий мониторинга, пуско-наладочных работ, логистических операций, несоблюдении норм безопасности в ходе работы с воспламеняющимися и токсичными веществами и др.).

Одной из наиболее распространенных причин нештатных ситуаций с космическими аппаратам является наличие заводского дефекта. «Почти треть отечественных спутников гражданского назначения, находящихся в настоящее время на космических орбитах, имеют заводские дефекты, которые снижают их функциональные возможности и срок активного существования»⁵⁸. В ряде случаев дефекты могут быть обнаружены в ходе предстартовых проверок.

⁵⁶ Там же, С.32

⁵⁷ Случаи отказов российских спутников. Досье. // [Электронный ресурс]. / www.tass.ru [сайт]. [2016]. URL: https://tass.ru/info/3258173https://www.nasa.gov/offices/ogc/about/space_act1.html (дата обращения 09.07.2019)

⁵⁸ Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники // С.32

Применительно к серийной продукции (двигатели, разгонные блоки (РБ) и др.) возможным является возникновение скрытых дефектов, развитие которых может привести к снижению функциональных показателей или полной потере изделия. В некоторых случаях возможно частичное или полное восстановление работоспособности космического аппарата за счет задействования резервных систем. Например, частичная потеря одного из спутников дистанционного зондирования Земли «Ресурс П» была обусловлена ненадлежащим выходом на режим одной из солнечных батарей сразу после начала его эксплуатации⁵⁹.

Более детальный анализ причин аварий, произошедших вследствие человеческого фактора или производственного дефекта, делает возможным совершенствование предлагаемой выше классификации причин неудачных запусков и сбоев в эксплуатации космической техники. Рассмотрение нескольких нештатных ситуаций в отрасли за последние десятилетие позволяет обосновать новые предложения, направленные на совершенствование рассмотренной классификации.

5 декабря 2010 года были в результате неудачного запуска РН «Протон-М» были потеряны три спутника ГЛОНАСС. Ущерб составил 90 млн долл. США. Аварийная комиссия установила, что причиной явилась ошибка в конструкторской и эксплуатационной документации, регламентирующей процедуру заправки разгонного блока топливом. В результате РБ был перезаправлен на 1,5 тонны, что привело к нехватке мощности ракеты-носителя⁶⁰.

2 июля 2013 года произошла авария ракеты-носителя «Протон-М», выводивший на орбиту три спутника ГЛОНАСС. Ущерб составил 4 млрд рублей⁶¹. Причиной катастрофы явилось «нарушение технологии установки трех датчиков угловых скоростей по каналу рыскания на ракете-носителе "Протон-

⁵⁹ Невосполнимый «Ресурс»: почему Россия потеряла два сложнейших спутника // [Электронный ресурс]. / www.iz.ru [сайт]. [2018]. URL: <https://iz.ru/818176/mikhail-kotov/nevospolnimyi-resurs-pochemu-rossiya-poterjala-dva-slozhneishikh-sputnika> (дата обращения 09.07.2019)

⁶⁰ Авария из-за ошибки // [Электронный ресурс]. / www.interfax.ru [сайт]. [2010]. URL: <https://www.interfax.ru/russia/169821> (дата обращения 09.07.2019)

⁶¹ ГЛОНАСС пополнилась аварией // [Электронный ресурс]. / www.kommersant.ru [сайт]. [2013]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2224508> (дата обращения 09.07.2019)

М"»⁶². Виновными были признаны два мастера и контролер ГКНПЦ имени М.В. Хруничева.

По мнению бывшего главного специалиста Вооруженных Сил РФ по космосу, генерал-майора запаса В. Уварова, большая часть аварий ракетно-космической техники обусловлена отсутствием особого контроля за производством и подготовкой космических аппаратов: от изготовления деталей до этапа запуска⁶³.

В начале 2017 года госкорпорация «Роскосмос» отозвала всю партию двигателей второй и третьей ступеней ракеты-носителя «Протон-М» на Воронежский механический завод. Причиной стало выявление факта использования менее жаростойких «неликвидных компонентов» вместо сплава драгоценных металлов при производстве двигателей. Последствием подобного грубого нарушения производственного процесса могли стать многомиллиардные убытки, понесенные в результате аварийных запусков ракеты-носителя. В результате отзыва двигателей были внесены изменения в график космических запусков с участием РН «Протон-М». Большая часть из запланированных стартов были коммерческими, поэтому результатом стал существенный репутационный ущерб отечественной космической отрасли⁶⁴. Описанные ситуации свидетельствуют о наличии двух основных проблем: нехватке в отрасли высококвалифицированных специалистов и наличии системных сбоев в организации производственной деятельности. Осуществление либеральных реформ в годы перестройки привело к переформатированию экономической структуры и значительным изменениям в экономических процессах. Временное сокращение необходимости в дальнейшем освоении космоса, пересмотр системы финансирования отрасли, низкий уровень заинтересованности в технологическом развитии, снижение числа заказов на осуществление космических запусков, повлекшее сокращение числа научно-исследовательских и опытно-

⁶² Авария под градусом. Протон-М упал из-за перевернутых датчиков // [Электронный ресурс]. / www.rg.ru [сайт]. [2013]. URL: <https://rg.ru/2013/07/18/proton-site.html> (дата обращения 09.07.2019)

⁶³ Там же

⁶⁴ «Роскосмос» отозвал все двигатели ракет-носителей «Протон-М» // [Электронный ресурс]. / www.rbc.ru [сайт]. [2017]. URL: <https://www.rbc.ru/society/25/01/2017/588810359a7947497bdd406b> (дата обращения 09.07.2019)

конструкторских работ способствовали оттоку высококвалифицированных специалистов. Изменение системы образования и социально-экономических приоритетов сформировали дисбаланс в количестве выпускников различных специальностей. На сегодняшний день проблема подготовки и формирования кадрового резерва исключительно актуальна для ракетно-космической отрасли, однако ее решение требует научно обоснованных системных изменений и времени.

Существующие системные дисбалансы в организации производственной деятельности определяют необходимость пересмотра внутриотраслевых и внутриорганизационных процессов. Высокотехнологичное, сложное производство требует максимальной точности в осуществлении каждой операции. Несмотря на то, что конструкторские решения, применяемые при проектировании космической техники, предусматривают наличие резервных систем, существуют элементы, которые не резервируются. Таким образом, вопросы совершенствования системы контроля качества в настоящее время приобретают особую актуальность.

Сформулированные положения обосновывают целесообразность расширения классификации причин возникновения происшествий при эксплуатации космической техники.

На рисунке 20 приведена расширенная классификация причин неудачных запусков и нештатных ситуаций, связанных с эксплуатацией космических аппаратов.

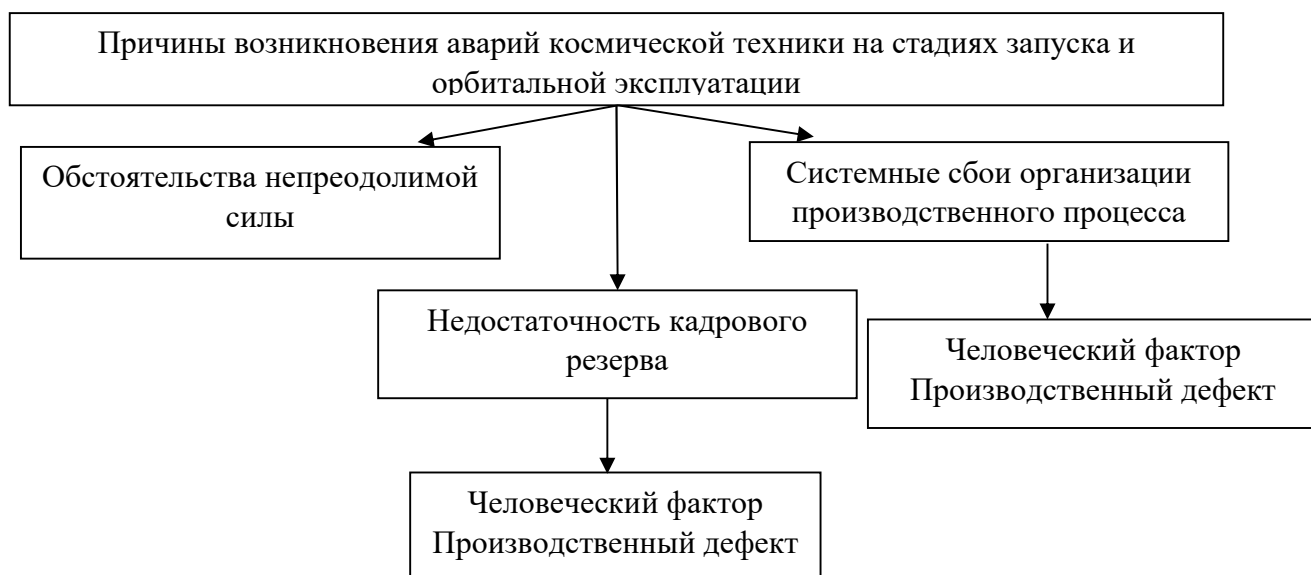


Рисунок 20 Классификация причин возникновения аварий при эксплуатации космической техники

Источник: построен автором

По результатам анализа данной классификации можно сделать вывод о том, что причины, связанные с участием человека на любом из этапов осуществления космического проекта, является следствием системной недоработки более высокого уровня. Таким образом, первоначальной причиной ошибки сотрудника или возникновения дефекта может стать или недостаточный уровень компетентности специалиста, что является результатом дефицита высококвалифицированных кадров, или недостаточно хорошо выстроенная система организации производственных процессов.

2.1.4. Классификация рисков космического проекта

Ракетно-космическая промышленность является одной наиболее технологически развитых отраслей машиностроения, характеризующейся достаточно высоким уровнем интеграции и кооперации многих производственных предприятий, научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и организаций, обеспечивающих транспортно-логистические и иные инфраструктурные процессы. Специфика отрасли

определяется использованием уникального дорогостоящего оборудования при создании сложных наукоемких технологий и технических систем, необходимых для реализации целей космической программы⁶⁵. Осуществление любого космического проекта связано в том числе с решением комплексной задачи по обеспечению безопасности процессов, оптимизации и управления рисками.

Результаты изучения специфики рисков космической деятельности и их классификации описаны в работах зарубежных и российских исследователей: Д.М. Джерстейн, Дж. Г. Каллимани, Л.А. Майер, Л. Мешкат, Я. Росбург, Ю.А. Анищенко, Е.С. Башуровой, Г.П. Беляковой, В.В. Копытова, В.Н., Д.А. Медведчикова, М.В. Сафронова, А.С. Славянова, А. Соболев, В.Н. Товстонощенко, О. Фадеев, Е.Ю. Хрусталева. Подходы к оценке приемлемого уровня рисков реализации космических проектов описаны в американском и европейском стандартах, а также в российском стандарте ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы.

В процессе подготовки космического проекта NASA сталкивается с большим числом рисков на разных уровнях управления. Большинство из этих рисков прямо или опосредованно влияют на исход запланированной космической миссии. Daniel M. Gerstein, James G. Kallimani, Lauren A. Mayer, Leila Meshkat, Jan Osburgand исследуют специфику рисков ракетно-космической деятельности и предлагают методологию, позволяющую пересмотреть существующую систему управления ими за счет совершенствования процедуры оценки. Методология учитывает не только факторы риска, но и внутреннюю структуру организации, а также используемые управленческие подходы. Авторы выделяют семь значимых для NASA факторов риска:

- риски «системы поставок» (невыполнение поставщиками договорных обязательств в срок; поставка материалов/ комплектующих ненадлежащего качества);

⁶⁵Товстонощенко В.Н. Риски инновационной деятельности ракетно-космической промышленности // Вестник СибГАУ. Т.14, №2. С. 523-528

- риски «затрат и сроков»;
- риск, связанный с дефицитом высококвалифицированных специалистов;
- организационный риск (обусловлен сложной системой организации, внутренней структуры и подчинения NASA);
- риск «внешней зависимости» (определяется зависимостью NASA от выполнения обязательств партнеров и подрядчиков);
- политический риск;
- технические риски⁶⁶.

Под космическим риском Ю.А. Анищенко, Е.С. Башурова и В.В. Копытов понимают «...гипотетическую возможность нанесения ущерба имущественным интересам участников космической деятельности и другим лицам в процессе ее осуществления»⁶⁷. Авторы предлагают рассматривать риски космической деятельности для конкретного этапа жизненного цикла проекта. В таблице 5 приведены данные, характеризующие риски каждого из этапов осуществления космического проекта.

Таблица 5 Риски, характерные для этапов осуществления космического проекта

Этап жизненного цикла космического проекта	Характерные риски
Разработка космического аппарата	Невыполнение/ несвоевременное выполнение, некачественное выполнение договорных обязательств Профессиональная ответственность конструкторов
Производство	Технические риски: ошибки при проведении работ, дефекты в материалах и узлах и др. Монтажные риски (риски, возникающие в ходе сборки и проведения наземных испытаний КА) Экологические риски Огневые риски
Запуск	Экологические риски Риск полной гибели КА
Выведение на рабочую орбиту и	Риск невыведения на расчетную орбиту

⁶⁶ Daniel M. Gerstein, James G. Kallimani, Lauren A. Mayer, Leila Meshkat, Jan Osburg and others Developing a risk assessment methodology for the National Aeronautics and Space Administration // RAND Corporation, Santa Monica, Calif. 2016 P. 92

⁶⁷ Анищенко Ю.А. Башурова Е.С., Копытов В.В. Виды рисков космических проектов // Современные проблемы экономического и социального развития, 2015. №11, С.6-10

Этап жизненного цикла космического проекта	Характерные риски
орбитальные проверки	Риск частичной или полной потери функциональности
Эксплуатация на орбите	Риск отказа бортового оборудования (прерывание функционирования КА, потеря связи с наземной инфраструктурой, полная или частичная потеря КА) Риск внешнего воздействия

Источник: построено автором по данным Анищенко Ю.А. Башурова Е.С., Копытов В.В. Виды рисков космических проектов // Современные проблемы экономического и социального развития, 2015. №11, С.8

Авторами отдельно рассматривается угроза причинения вреда жизни, здоровью и имуществу третьих лиц, хотя данная категория риска могла быть внесена в выше рассмотренную классификацию.

Аналогичный подход к классификации рисков применяют Е.Ю. Хрусталеv, А.С. Славянов и О.Е. Хрусталеv. В приложении 1 приведена таблица, содержащая перечень рисков, характерных для этапов жизненного цикла космического проекта⁶⁸. В представленной классификации подробно рассматриваются стадии выполнения каждого из этапов и риски, соответствующие им. Кроме того, авторы приводят оценки вероятного ущерба по каждой из категории рисков.

В.Н. Товстоношенко рассматривает риски, характерные для инновационной деятельности ракетно-космической отрасли. Автор выделяет семь групп рисков, которые могут возникнуть при осуществлении космического проекта, требующего внедрения новых разработок: инновационные, коммерческие, экономические, финансовые, отраслевые, юридические, политические. Более подробная схема приведена в приложении 2⁶⁹.

Д.А. Медведчиков выделяет следующие категории рисков космической деятельности: специфические, катастрофические, коммерческие (в том числе финансовые), экологические, транспортные, политические, специальные, технические, риски ответственности перед третьими лицами. К катастрофическим рискам относят природные явления (например, ураганы, стихийные бедствия).

⁶⁸ Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники // Экономический анализ: теория и практика, 2016. №5, С.35-36

⁶⁹ Товстоношенко В.Н. Риски инновационной деятельности ракетно-космической С.528

Коммерческие риски определяются возможными потерями инвестиций в проект, недополучением ожидаемого дохода, а также возможным непредвиденным увеличением затрат. Под экологическим понимается риск загрязнения окружающей среды, возникновение которого возможно в связи с использованием токсичных веществ в качестве топлива для космической техники. Транспортные риски характеризуются возможностью причинения ущерба при осуществлении транспортно-логистических операций. Политические риски связаны с изменением политической ситуации в мире и введением новых законодательных норм, прямо или косвенно влияющих на осуществление космического проекта. Специальные риски – особая категория, связанная со страхованием особо ценных объектов на специальных условиях. Технические риски объединяют производственные и эксплуатационные риски и определяются показателями надежности различных элементов. Риски ответственности перед третьими лицами заключаются в ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью, имуществу третьих лиц в ходе подготовки, запуска и эксплуатации космического аппарата⁷⁰.

А. Соболев и О. Фадеев рассматривают риски, характерные для выполнения коммерческого космического проекта. В таблице 6 представлена их классификация. Основным критерием классификации является характер источника возникновения риска.

Таблица 6 Классификация рисков коммерческих космических проектов

Внутренние риски	Внешние риски
Риск невыполнения обязательств поставщиками	Политические риски (санкции)
Риск ошибки при производстве и сборке КА	Зарубежные экономические риски (коррупция, финансовый кризис)
Риск сбоя системы управления качеством при производстве КА	Природные риски
Риск ущерба при осуществлении транспортно-логистических операций	

⁷⁰ Медведчиков Д.А. Страхование рисков и основные виды космического страхования // [Электронный ресурс]. / www.space-ins.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/o/145-2010-06-20-15-47-20.html> (дата обращения 09.07.2019)

Внутренние риски	Внешние риски
Риск ошибки при разработке инновационных технологий, применяемых в данном проекте	
Риск, связанный со сбоем технологического и сервисного обслуживания	
Риск ошибки при формировании команды специалистов и в процессе управления персоналом	
Риск ошибки, связанной со сбоем системы контроля и передачи информации о состоянии КА	
Экономические риски	
Неэкономические риски	

Источник: Sobol A., Fadeev O. Risk assessment and management in the implementation of projects in the rocket and space complex on the basis of commercial effectiveness principles // MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 212. P. 1-9

Предложенная классификация позволяет построить и адаптировать систему риск-менеджмента с учетом возможных факторов внешнего или внутреннего негативного влияния на реализацию проекта. В результате анализа представленной классификации можно утверждать о преимущественном рассмотрении в ней рисков, характерных для начальной стадии разработки и производственного этапа коммерческого космического проекта. Данная классификация позволяет учесть риски, описывающие экономическую сторону ведения проекта. В предложенных группировках различных категорий риска практически не рассматриваются экологические, а также риски запуска и орбитальной эксплуатации.

До недавнего времени проблеме негативного воздействия аварийных космических запусков на экологию должного значения не придавалось. С развитием информационно-коммуникационных технологий, навигационных систем, появлением потребности в более глубоком изучении космического пространства и поведения различных живых организмов в условиях невесомости возникла необходимость в привлечении дополнительного финансирования и рыночных инвестиций для осуществления ряда космических проектов. Коммерциализация определила потребность в пересмотре отношения к

негативным факторам воздействия на экологические системы и приобретении опыта внедрения некоторых видов экологического мониторинга на космодромах «Байконур» и «Плесецк»⁷¹.

Статья 1 закона «Об охране окружающей среды» определяет экологические риски как «вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера»⁷². Исследованием факторов наступления экологического риска при осуществлении ракетно-космической деятельности, оценками их последствий, а также разработками превентивных мероприятий и нормированием экологического воздействия занимаются А.Д. Кондратьев, Н.С. Касимов, П.П. Кречетов, Т.В. Королева, О.В. Черницова, А.В. Шарапова⁷³.

Экологический ущерб может возникнуть не только в результате аварии КА с последующим падением крупных обломков и заражением почвы токсичными компонентами топлива, но и в результате нештатного функционирования КА с ядерными источниками энергии. О.В. Яковлевым проанализированы риски, сопряженные с использованием ядерной энергетики в космосе и возможные методы управления ими. На основе проведенного исследования опыта запуска КА с ядерными энергетическими установками в СССР и США разработана типология возможных аварий (рисунок 21).

⁷¹ Фадеев А.С. Прогнозирование экологических последствий космической деятельности космодрома «Восточный» Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2012. Т. 129. № 4. С. 21-32

⁷² Закон об охране окружающей среды // [Электронный ресурс]. / www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (дата обращения 09.07.2019)

⁷³ Кондратьев А.Д., Касимов Н.С., Кречетов П.П. и др. К 64 Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности / Кондратьев А.Д., Касимов Н.С., Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В., Шарапова А.В.; Под ред. акад. Н.С. Касимова. – М.: Издательство «Спутник +», 2015. – 280 с.



Рисунок 21 Типология рисков возникновения чрезвычайных ситуаций при подготовке и эксплуатации КА с ЯЭУ

Источник: Яковлев О.В. Системный анализ безопасности и риска космической ядерной энергетики // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2011. №2, С.44-48

В настоящее время в Российской Федерации реализуется космический проект, предполагающий возобновление использования ядерной энергетики в космосе. Углубленное освоение космического пространства, включающее выполнение стратегических оборонных задач, осуществление сверхдальних полетов с целью исследования Солнца, планет и астероидов, определяют необходимость использования принципиально новых подходов к энергетическому и ресурсному обеспечению космических аппаратов. Решение новых прорывных задач в области исследования космоса возможно при разработке космических аппаратов с использованием передовых технологий создания ядерной энергодвигательной установки (ЯЭДУ).

В этой связи необходимо акцентировать внимание не только на проектировании, технологической и технической реализации ЯЭДУ, но и на подходах, применяемых для управления рисками глобального проекта. Ввод в эксплуатацию КА с ядерными энергодвигательными установками приведет к необходимости решения комплексных взаимообусловленных оптимизационных задач, связанных с объединением двух наиболее сложных в управлении и высокочувствительных в случае компенсации групп космических и ядерных рисков. Такое объединение приводит к появлению сложных (комбинированных) рисков. Несмотря на то, что одним из ключевых условий реализации космического проекта с использованием ядерной энергии стало обеспечение условий, позволяющих полностью исключить вероятность неконтролируемой цепной реакции деления ядер урана, этот гипотетический риск должен быть учтен и оценен. Выполнение этого требования обуславливает необходимость совершенствования классификации рисков космической деятельности.

В таблице 7 представлена классификация рисков в зависимости от этапа реализации космического проекта.

Таблица 7 Классификация рисков космической деятельности

	Этап жизненного цикла космического проекта					
Тип риска	Разработка концепции проекта	Проведение предварительных исследований и проектирование	Производство	Проведение предстартовых мероприятий и запуск	Орбитальная эксплуатация	Завершение эксплуатации КА
Политический	Риск, связанный с изменением приоритетных направлений деятельности		Риск наложения санкций и разрыва контракта между партнерами/ поставщиками/ заказчиками			
Финансовый			Риск удорожания проекта ввиду изменения цен на ресурсы Риск невыполнения обязательств партнерами по проекту		Риск финансовых потерь вследствие невыполнения (неполного выполнения) запланированных работ в ходе эксплуатации КА	
Профессиональный		Риск причинения вреда здоровью		Риск причинения вреда здоровью		

	Этап жизненного цикла космического проекта					
Тип риска	Разработка концепции проекта	Проведение предварительных исследований и проектирование	Производство	Проведение предстартовых мероприятий и запуск	Орбитальная эксплуатация	Завершение эксплуатации КА
		специалистов, осуществляющих проектирование, наземные испытания и отработку опытных образцов ЯЭДУ		специалистов, осуществляющих работу с радиоактивными элементами при проведении предстартовых работ		
Экологический риск				Риск загрязнения окружающей среды в т.ч. радиоактивными элементами при ошибках в процессе проведения пуско-наладочных работ Риск загрязнения окружающей среды в т.ч. радиоактивными элементами при аварии ракеты-носителя	Риск нештатной ситуации при эксплуатации ЯЭДУ	Риск загрязнения окружающей среды при несрабатывании системы увода КА с ЯЭДУ на радиационно безопасную орбиту (РБО) после окончания срока его эксплуатации

	Этап жизненного цикла космического проекта					
Тип риска	Разработка концепции проекта	Проведение предварительных исследований и проектирование	Производство	Проведение предстартовых мероприятий и запуск	Орбитальная эксплуатация	Завершение эксплуатации КА
Технический риск		Риск ошибки проектирования КА (в т.ч. с ЯЭДУ)	Риск ошибки при производстве КА Риск ошибки при производстве ЯЭДУ Риск возникновения дефекта при производстве КА Риск возникновения ошибок на стадии производства элемента и узлов реактора ЯЭДУ.	Риск ошибки при осуществлении логистических и пуско-наладочных работ	Риск частичной или полной потери КА (в т.ч. с ЯЭДУ) на орбите	
Риск ответственности перед третьими			Риск ответственности за ущерб жизни	Риск причинения вреда жизни, здоровью,		

	Этап жизненного цикла космического проекта					
Тип риска	Разработка концепции проекта	Проведение предварительных исследований и проектирование	Производство	Проведение предстартовых мероприятий и запуск	Орбитальная эксплуатация	Завершение эксплуатации КА
лицами			и здоровью сотрудников производящих предприятий	имуществу третьих лиц при осуществлении запуска космического аппарата (в т.ч. с ЯЭДУ)		

Источник: построено автором

Предложенная классификация содержит основные риски, характерные для каждого этапа осуществления космического проекта. Ее новизна определяется тем, что некоторые категории рисков учитывают вероятность наступления неблагоприятного исхода, связанного с внештатной ситуацией при проектировании, производстве и эксплуатации ядерного источника энергии. Сформулированная классификация определяет формирование общего представления о совокупности рисков космических проектов с использованием ЯЭДУ, а также способствует развитию систем управления рисками и контроля качества процессов на каждом этапе проекта.

2.2. Управление рисками космических проектов, специфические особенности их оценки

Управление рисками космических проектов является сложным и многоэтапным процессом. В Российской Федерации требования к осуществлению соответствующего риск-менеджмента сформулированы в ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы. На рисунке 22 представлено схематическое изображение этапов риск-менеджмента.

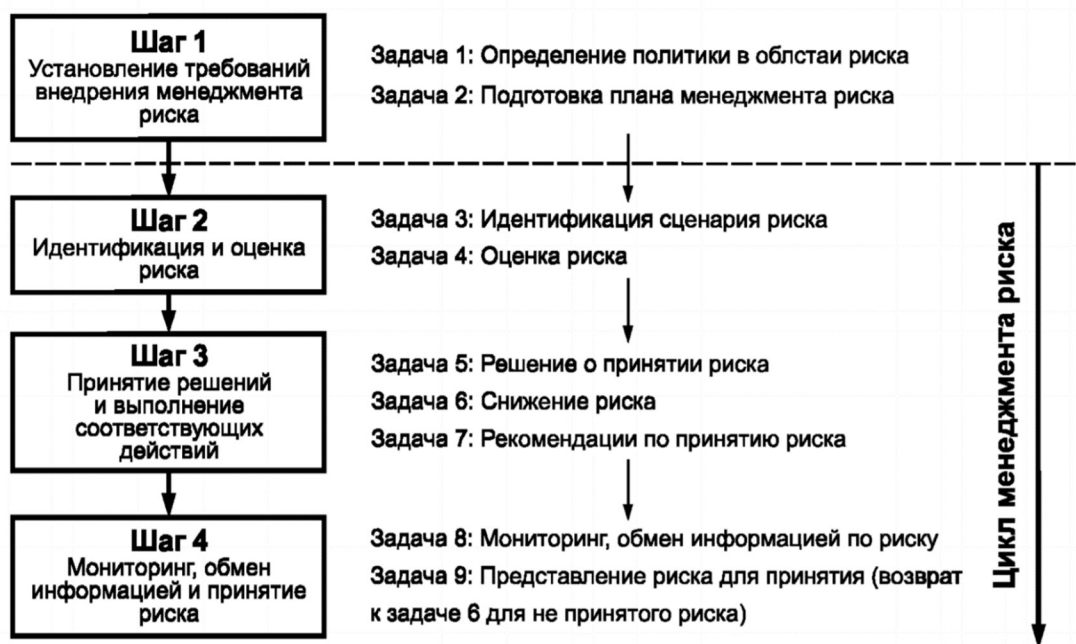


Рисунок 22 Цикл процесса риск-менеджмента

Источник: ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы. (введен Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2006 г. № 126-ст) [Электронный ресурс] // [www.docs.cntd.ru](http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17666-2006) [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17666-2006> (дата обращения: 20.10.2019)

Процесс управления рисками состоит из четырех шагов, каждый из которых подразделяется на несколько задач. Их последовательное выполнение определяет структуру всего процесса. Каждая из задач подразумевает выполнение определенных действий, более подробное описание которых представлено в таблице 8.

Таблица 8 Содержание цикла процесса риск-менеджмента

Шаг	Задача	Содержание
Шаг 1. Установление требований внедрения менеджмента риска	Задача 1. Определение политики предприятия в области риска	Определение факторов, влияющих на риск; идентификация целей проекта и ресурсных ограничений; описание стратегии проекта в области риска, с определением допустимых уровней риска; определение схемы ранжирования целей в области риска, соответствующих требованиям проекта; установление и утверждение системы оценивания в баллах для определения тяжести последствий и вероятности появления опасных событий; разработка структуры индексов риска для определения величины риска по различным сценариям риска;

Шаг	Задача	Содержание
		установление критериев, предусматривающих определенные действия, которые должны быть предприняты на основе полученных рисков и связанных с ними решений; определение критериев принятия для индивидуальных видов риска; определение метода для ранжирования и сравнения рисков; установление метода измерения совокупного риска; установление критерия приемки совокупного риска; определение стратегии мониторинга риска;
	Задача 2. Подготовка плана менеджмента риска	Организация процесса риск- менеджмента; резюме политики предприятия в области риска; анализ и обоснование области применения менеджмента риска на всех стадиях проекта.
Шаг 2. Идентификация и оценка риска	Задача 3. Идентификация сценария риска	Идентификация сценариев риска, включая причины и последствия; определение превентивных инструментов и средств раннего предупреждения неблагоприятных исходов; определение целей проекта в области риска.
	Задача 4. Оценка риска	Определения тяжести последствий для каждого сценария риска; определения вероятности реализации каждого сценария риска; определения индекса риска для каждого сценария риска; использования доступных источников информации и применение пригодных методов для поддержки процесса оценки риска; определения значения риска для каждого сценария риска; определения совокупного риска проекта на основе оценки идентифицированных индивидуальных видов риска, их взаимодействий и анализ его влияния на проект.
Шаг 3. Принятие решений и определение последующих действий	Задача 5. Решение о принятии риска	Использование критериев принятия риска; распределение рисков по группам приемлемого риска, а также риска, требующего снижения;
	Задача 6. Снижение риска	Разработка превентивных мероприятий для непринятых рисков; установление критериев достижения/не достижения и верификации снижения риска; определение вариантов снижения риска в сочетании с оптимизацией основных ресурсов; выбор лучших действий по снижению риска; верификация снижения риска; идентификация рисков, которые не могут быть снижены

Шаг	Задача	Содержание
		до приемлемого уровня; идентификация возможностей снижения совокупного риска;
	Задача 7. Рекомендации по принятию риска	Определение вариантов решения по принятию риска; одобрения принятых и устранимых видов риска;
Шаг 4. Мониторинг, обмен информацией и принятие риска	Задача 8. Мониторинг и обмен информацией по риску	Постоянный мониторинг всех выявленных видов риска; идентификация изменений существующих видов риска и анализ новых видов риска;
	Задача 9. Представление риска для принятия	Представление риска для официального принятия риска руководством; Возвращение к задаче 6 для непринятых видов риска.

Источник: ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы.
URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17666-2006> (дата обращения: 20.10.2019)

Оценивание рисков является одним из наиболее важных этапов при планировании и подготовке дальнейшей работы, связанной с управлением рисками. По результатам оценивания делается вывод о значимости того или иного риска, его критичности для осуществления конкретного вида деятельности, а также выбирается метод и разрабатываются мероприятия по управлению рисками.

В ракетно-космической отрасли оценка рисков проектов имеет особую значимость. Особенности функционирования космической промышленности, а также специфика ее продукции обуславливают необходимость применения нестандартных подходов к оценке рисков космических запусков.

К отмеченным особенностям можно отнести:

- 1) Необходимость привлечения значительных ресурсов для реализации космического проекта, использование уникальных технологий при проектировании, производстве, запуске и эксплуатации космического аппарата на орбите.

- 2) Достаточно высокие показатели ущерба при нештатных и (или) аварийных ситуациях.
- 3) Невысокий уровень наполнения баз данных аварийных запусков вследствие их относительно небольшого количества.
- 4) Практически полное отсутствие статистической информации, определяющее значительные сложности оценивания рисков эксплуатации принципиально новых или глубоко рестайлинговых космических систем.
- 5) Необходимость проведения дополнительных расчетов, направленных на минимизацию рисков при использовании производимых в разных странах элементов и узлов космических аппаратов в случае взаимодействия с зарубежными партнерами при подготовке и реализации совместных космических проектов.

2.3. Подходы к оценке рисков космических проектов

Разработкой подходов оценки рисков космических проектов занимаются многие отечественные и зарубежные авторы. Так в работе R.P. Осампро и D.M. Klaus рассматривается методика прогнозирования уровня риска при осуществлении космических запусков в условиях недостаточности статистической информации по конкретному типу летательного аппарата. Авторы апробируют методику на основе данных аварий разных видов транспорта и статистики по экстремальным видам спорта. Ими выявлены зависимости между числом аварий, приходящихся на один запуск, и количеством запусков в год, а также между количеством несчастных случаев на одного человека и количеством людей, участвующих в пилотируемых программах в течение года. По результатам исследования получены выводы о снижении уровня риска при увеличении числа запусков и увеличении этого показателя при сокращении количества запусков. Верными являются и обратные утверждения, т.е. увеличение уровня риска

обуславливает снижение числа запусков, а его снижение- увеличение этого показателя⁷⁴.

Исследование Robert B. Cross и William E. Vesely направлено на совершенствование вероятностного метода оценки рисков запуска ракет-носителей. По мнению авторов, в начале эксплуатации новые типы носителей, как правило, характеризуются более высоким уровнем риска по сравнению с его значением, полученным при использовании вероятностного подхода. Это связано с большей пригодностью вероятностного метода для анализа рисков эксплуатации зарекомендовавших носителей. Авторы предлагают метод, позволяющий более точно прогнозировать величину риска первых запусках РН. На основе статистических данных результативности первых двух запусков новых моделей ракет-носителей, осуществленных в США за период с 1980 по 2017, а также надежности отдельных элементов и узлов, авторы прогнозируют вероятность отказа гипотетической ракеты-носителя нового поколения⁷⁵.

В работе «Risk assessment of satellite launch with reusable launch vehicle» автор разрабатывает методологию оценки риска наступления ответственности перед третьими лицами в случае запуска и орбитальной эксплуатации многоразового космического аппарата⁷⁶. Осуществляется моделирование траектории запуска и определяет возможную зону поражения на Земле в случае возникновения аварийной ситуации. Величину максимально возможного ущерба предлагается оценивать на основе данных о возможном местонахождении населенных пунктов и объектов инфраструктуры в предполагаемой зоне риска.

Среди отечественных авторов А.И. Орлов и А.Д. Цисарский занимаются исследованием подходов к оценке рисков при создании ракетно-космической техники. Авторы разрабатывают организационно-экономическую модель их оценки при производстве изделий ракетно-космической отрасли. В основе модели

⁷⁴ Ocampo R.P., Klaus D.M. Applying regression analysis to model the risk of space flight and terrestrial activities // The journal of Space Safety Engineering. 2018. Vol. 5, P. 135-139

⁷⁵ Cross R.B. Vesely W.E. Synthesizing a new launch vehicle failure probability based on historical flight data. Probabilistic Safety Assessment and Management [Электронный ресурс] // www.iapsam.org [сайт]. URL: http://www.iapsam.org/psam14/proceedings/paper/paper_281_1.pdf

⁷⁶ Der Kiureghian A. Risk assessment of satellite launch with reusable launch vehicle // Reliability Engineering and System Safety. 2011. №74. P. 353 - 360

заложена иерархическая система рисков. Авторы рассматривают риски, характерные для начальных этапов жизненного цикла космического проекта: от разработки технического проекта до производства. Основная задача декомпозиции рисков заключается в упрощении оценки более простых, частых рисков. Итоговое значение получается по результатам агрегирования экспертных оценок каждого из рисков⁷⁷.

По мере развития технологий и усложнения космической техники актуальным остается вопрос обеспечения надежности ее функционирования. На сегодняшний день оценка рисков запуска и эксплуатации космической техники предполагает в том числе определение надежности отдельных элементов и узлов КА. Требования к осуществлению расчетов надежности в технике закреплены в ГОСТ 27.301- 95 Надежность в технике. Расчет надежности. Межгосударственный стандарт определяет процедуру расчета надежности как «последовательное поэтапное уточнение оценок показателей надежности по мере отработки конструкции и технологии изготовления объекта, алгоритмов его функционирования, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта, критериев отказов и предельных состояний, накопления более полной и достоверной информации о всех фактах определяющих надежность...»⁷⁸.

По методологии осуществления расчетов надежности выделяют три группы методов: методы прогнозирования, а также структурные и физические методы расчета.

Методы прогнозирования основаны на использовании данных о величине и возможных изменениях показателя надежности объектов-аналогов, свойства, назначения, принципы функционирования, технологии производства которых близки к конкретному объекту. Среди методов прогнозирования выделяют:

- методы эвристического прогнозирования;

⁷⁷ Орлов А.И., Цисарский А.Д. 1) Модель оценки рисков проектов при создании ракетно-космической техники // Вестник НПО им. С.А.Лавочкина. 2017. №3 (37). С.89-94 ; 2) Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 43 (232). С. 37-46

⁷⁸ ГОСТ 27.301- 95 Надежность в технике. Расчет надежности. (принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации; введен 01.01.1997) [Электронный ресурс] // www.internet-law.ru [сайт]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/9361/> (дата обращения: 18.10.2019)

- методы прогнозирования по статистическим моделям;
- комбинированные методы.

Методы эвристического прогнозирования предполагают обработку независимых экспертных оценок группы квалифицированных специалистов, прогнозирующих надежность функционирования объекта исходя из предоставленных о нем данных. Примером такого подхода является метод Дельфи.

Методы прогнозирования по статистическим моделям основываются на экстраполяции зависимостей, характеризующих уровень надежности и тенденции изменения соответствующего показателя для аналогичных объектов.

Комбинированные методы предполагают проведение расчета надежности двумя вышеуказанными методами с последующим сравнением полученных результатов.

Структурные методы основаны на представлении объекта в виде структурно-функциональной схемы, позволяющей контролировать и прогнозировать состояния и переходы от состояния к состоянию с учетом взаимодействия отдельных элементов, с последующей формализацией в виде математической модели и определением надежности по характеристикам отдельных элементов. Такие методы в основном используются для анализа показателей безотказности, ремонтпригодности, общих показателей надежности в процессе проектирования, а также определения долговечности и сохраняемости объектов.

Физические методы основаны на построении математических моделей, учитывающих свойства и процессы, которые могут привести к отказу объекта. Вычисление надежности осуществляется по данным показателя нагруженности, а также по характеристикам свойств, описывающих конструкторско-технологические особенности. Соответствующие методы используются для расчета безотказности и долговечности объектов при наличии данных о процессе, механизме и условиях деградации его отдельных элементов при эксплуатации. В основе метода используются математические модели, позволяющие рассчитать

показатель надежности с учетом специфики конструкции, используемых производственных технологий, режима функционирования и пр.⁷⁹

В работе «Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов» В.И. Куренковым и В.А. Капитоновым рассмотрены особенности расчета надежности отдельных элементов и узлов; подходы к исследованию надежности систем с сетевой структурой; методы обеспечения надежности функционирования ракетно-космической техники на всех этапах ее жизненного цикла; принципы нормирования надежности и пр.⁸⁰

⁷⁹ Там же

⁸⁰ Куренков В.И., Капитонов В.А. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов: учеб. Пособие – Самара: изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 320 с.

ГЛАВА 3. Концептуальные основы оценки рисков при страховании космических летательных аппаратов нового поколения

3.1. Инновации ракетно-космической отрасли РФ

Основные направления развития ракетно-космической отрасли и принципы осуществления деятельности в области освоения космического пространства закреплены в Федеральной космической программе на 2016- 2025 годы. Реализация программы осуществляется в два этапа. На первом этапе с 2016 по 2020 годы предполагается:

1. увеличить группировку КА социально-экономического и научного назначения;
2. разработать и внедрить новые технологические решения в рамках создания космических комплексов;
3. осуществить модернизацию и техническое переоснащение в минимально достаточном объеме производственных и экспериментальных баз космической промышленности для создания конкурентоспособной продукции.

В ходе второго этапа космической программы на период с 2021 по 2025 годы запланировано обеспечение минимально необходимого состава орбитальной группировки КА и при необходимости их замены на усовершенствованные КА, а также опережающее создание уникальных технологий для развития ключевых космических комплексов после 2025 года.

Особое значение для обеспечения развития отечественной космической техники и ракетно-космической отрасли имеет развитие базовых элементов и перспективных технологий. Сформированный таким образом технический задел позволит осуществлять разработку уникальных аппаратов и космических комплексов не с самого начала, а на основе имеющейся проверенной технологической базы. Это обусловит значительное сокращение сроков реализации будущих проектов, их удешевление, а также будет способствовать повышению надежности.

В рамках развития базовых технологий предполагается создание:

1. программного обеспечения КА дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) на основе отечественных разработок, позволяющего осуществлять мониторинг со сверхвысоким разрешением;
2. уникальных двигательных установок и ракет-носителей на экологически чистом топливе, ядерных энергодвигательных установок, а также систем контроля средств выведения;
3. производственных технологий ракетно-космической отрасли и приборостроения для повышения надежности комплектующих, элементов и узлов.

Совершенствование используемых технологий обусловит необходимость пересмотра системы обеспечения качества и безопасности эксплуатации космической техники; развития методик и средств осуществления наземной отработки КА и систем, а также совершенствование системы предупреждения об опасных сближениях.

С 2016 по 2025 год предполагается осуществить запуски КА, позволяющих:

- исследовать Луну, Марс и другие планеты;
- осуществить стереообзор Солнца с мониторингом его активности;
- исследовать влияние невесомости на разные организмы;
- исследовать астрофизические объекты⁸¹.

3.2. Особенности космических транспортных модулей нового поколения⁸²

Выполняемый в России в соответствии с решением Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России проект «Создание транспортно-энергетического

⁸¹ Основные положения Федеральной космической программы на 2016- 2025 годы [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016]. URL:<https://www.roscosmos.ru/22347/> (дата обращения 06.08.2019)

⁸² При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Акимов В.Н., Гафаров А.А., Долгуничев К.Д., Коротеева А.А. Вопросы страхования космических аппаратов с ядерными энергодвигательными установками // Страховое дело 2018. №12. С. 39-46 (общий объем публикации – 0,46 п.л.; личный вклад автора - 0,12 п.л.)

Семенкин А.В., Гафаров А.А., Солодухин А.Е., Коротеева А.А. Некоторые вопросы радиационной безопасности и страхования космических аппаратов с ЯЭУ // Атомная энергия 2020. Т.128, №1. С.11-17 (общий объем публикации – 0,45 п.л.; личный вклад автора - 0,11 п.л.)

модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного уровня» (Протокол №5 от 28.09.2009) не имеет мировых аналогов и направлен на обеспечение реализации приоритетных направлений космической деятельности страны в области обороны и безопасности, социально-экономического развития, решения прорывных научных задач⁸³. Комплекс решаемых задач социально-экономического развития объединяет разработку новых инновационных продуктов, используемых в агрегатах и узлах транспортно-энергетического модуля (ТЭМ): высокотемпературных конструкционных материалов, турбин, компактных ядерных реакторов, высокооборотных электрогенераторов и др. с возможностью последующего их применения в изделиях космической техники и различных отраслей промышленности. В научном плане ТЭМ существенно расширит возможности исследования космического пространства, включая дальний космос. Использование космических ядерных энергоустановок возможно при решении целого ряда принципиально новых задач, например, осуществления пилотируемого полета на Марс, проведения детальных исследований дальних планет, астероидов, а также объектов, расположенных за пределами Солнечной системы.

Компоновочная схема космического аппарата с энергетическим модулем представлена на рисунке 23.

⁸³ Петрухин Б.М. Система оценки приоритетов при отборе мероприятий для включения в Федеральную космическую программу России. – Космонавтика и ракетостроение, 2015, №5 (84), С. 33-39

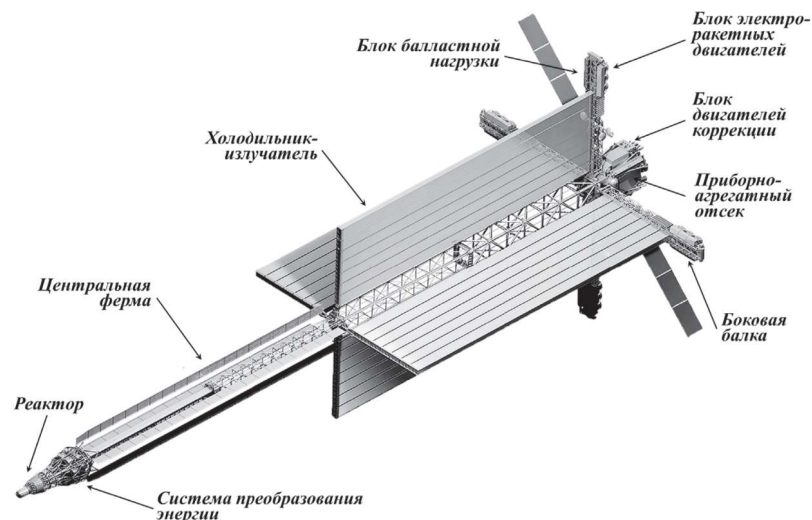


Рисунок 23 Основные составные части КА с ТЭМ

Источник: Акимов В.Н., Гафаров А.А., Долгуничев К.Д., Коротеева А.А. Вопросы страхования космических аппаратов с ядерными энергодвигательными установками // Страховое дело 2018. №12. С. 39-46

КА состоит из энергетического модуля (ЭМ) и модуля полезной нагрузки. Основными составными частями ЭМ являются ядерная энергодвигательная установка (ЯЭДУ), отсек несущих ферм в виде развертываемых металлических конструкций и приборно- агрегатный блок. ЯЭДУ объединяет ядерную энергетическую установку (ЯЭУ) и электроракетную двигательную установку (ЭРДУ). Основными частями ЯЭУ являются реакторная установка (РУ), система преобразования энергии (СПЭ) и система отвода тепла (СОТ).

В изделии используется реактор на быстрых нейтронах с топливом в виде двуокси урана с 95% обогащением по урану-235. В качестве теплоносителя в реакторе используется смесь инертных газов гелия и ксенона. Из-за большого периода полураспада изотопа урана-235 суммарная активность загружаемого топлива является незначительной и намного меньше, чем, например, в радиоизотопном генераторе запущенного в США в 2011 году марсохода Curiosity.

В соответствии с российскими и международными правилами, значение допустимой дозы годового облучения отдельных лиц из населения значительно выше и составляет 1 мЗв и приблизительно равна дозе облучения, обусловленной наличием естественного радиационного фона Земли. Сопоставление приведенных

показателей позволяет сделать вывод об отсутствии радиационной опасности для населения от загруженного топливом, но не введенного в эксплуатацию реактора ТЭМ.

После сборки реактора производится его физический пуск (инициирование цепной реакции деления ядер нейтронами, характеризующейся очень малыми значениями нейтронного потока и, как следствие, выделяющейся тепловой мощности) для тестовых проверок. В связи с этим к моменту поступления РУ на сборку в состав ЯЭДУ, а затем ЭМ и КА он может создавать определенную радиационную опасность. Максимальные уровни излучений оцениваются величиной 13 мкЗв/ч через месяц после проведения физического пуска. В этом случае доза облучения в 1мЗв может быть получена за 76 часов. Для безусловного обеспечения безопасности населения в случае аварии ракеты-носителя на этапе выведения ЭМ на орбиту и падения на Землю необходимо проведение оперативного поиска и удаления реактора ЭМ. Характерное время, затрачиваемое на обнаружение совершивших аварийные посадки КА, можно проиллюстрировать на примере анализа ситуации, возникшей с кораблем «Союз» 7К-Т № 39, запущенным 5 апреля 1975 года и нештатно приземлившимся в горном безлюдном районе Алтая после отказа третьей ступени РН. Аппарат был обнаружен менее чем за сутки, а экипаж эвакуирован 6 апреля⁸⁴.

При работе на стационарном (номинальном) режиме реактор характеризуется тепловой мощностью 3,5 МВт. Электрическая мощность, вырабатываемая после преобразования тепловой энергии, составляет около 1 МВт, таким образом система отвода тепла, основанная на использовании традиционных панельных или принципиально нового капельного холодильника-излучателя должна обеспечить теплоотвод в космическое пространство неиспользованных 2,5 МВт низкопотенциального тепла. Основная доля вырабатываемой электроэнергии идет на питание электроракетной двигательной

⁸⁴ Аварии и ЧП на российских космических кораблях «Союз» - Электронный ресурс.: www.ria.ru [сайт] . [2013]. URL: <http://ria.ru/spravka/20130913/962986653.html> (10.01.2016)

установки. Общий проектный ресурс ядерной энергодвигательной установки составляет 10 лет.

После включения в активной зоне реактора происходит накопление радиоактивных осколков деления ядер урана, поэтому эксплуатирующийся реактор представляет радиационную опасность, которая может наступить вследствие нарушения целостности активной зоны из-за возникновения запроектных аварийных ситуаций⁸⁵. По данным рисунка 24 продолжительность изоляции реактора для снижения активности до безопасной величины оценивается 600 годами.

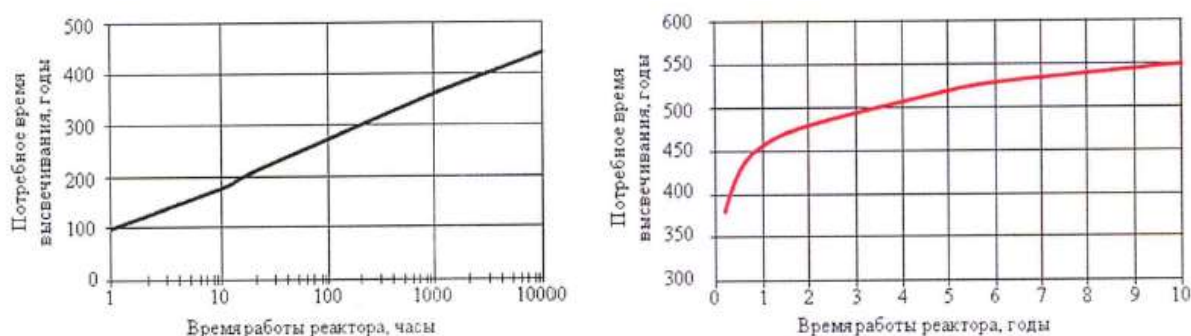


Рисунок 24 Необходимая продолжительность пребывания на орбите КА с ЭМ в зависимости от времени его работы

Источник: Гафаров А.А., Долгуничев К.Д. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности космических аппаратов с ядерными энергетическими установками большой мощности // Полет. 2016. №1. С.3 -11

С учетом приведенных основных характеристик реакторной установки в проекте использованы следующие основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

1. Функционирование энергетического модуля с включенным реактором допускается только после выхода космического аппарата на орбиту. До этого момента, в том числе во всех аварийных ситуациях со средствами выведения,

⁸⁵ Семенкин А.В., Гафаров А.А., Солодухин А.Е., Коротеева А.А. Некоторые вопросы радиационной безопасности и страхования космических аппаратов с ЯЭУ // Атомная энергия 2020. Т.128, №1. С.11-17

принятыми конструктивными мерами исключается самопроизвольное неконтролируемое включение РУ. Мероприятия на территории возможного падения реактора сводятся к его поиску и удалению в течение трех суток.

2. Включение реакторной установки допускается только на радиационно-безопасных орбитах (РБО), продолжительность пребывания космического аппарата на которых достаточна для снижения активности РУ до безопасного для населения уровня. Минимальная высота такой орбиты составляет 800 – 1000 км. В соответствии с международными правилами, допускается пролет и пребывание КА с наработавшей ядерной энергетической установкой на околоземных орбитах любой высоты при условии перевода ЯЭУ на РБО после окончания работы или в аварийных ситуациях. Ограничение, связанное с недопустимостью применения энергетического модуля на низких орбитах, существенно повышает уровень безопасности, несмотря на возможное снижение эффективности.
3. После завершения целевого функционирования КА с ТЭМ доставляется в область захоронения, находящуюся выше геостационарной орбиты. Таким образом, возможность его возвращения на Землю исключается.

Для выведения на радиационно-безопасную орбиту штатного энергетического модуля необходимо использование РН типа «Ангара- А5В». Опорной круговой орбитой называется круговая орбита, на которую выводится КА с целью выполнения поставленных задач.

На рисунке 25 представлена зависимость времени существования космического аппарата с ТЭМ в зависимости от высоты орбиты. В результате анализа представленного на рисунке графика можно сделать вывод о том, что для обеспечения необходимого времени высвечивания радионуклидов существования, составляющего 600 лет, высота орбиты должна составлять более 1000 км.

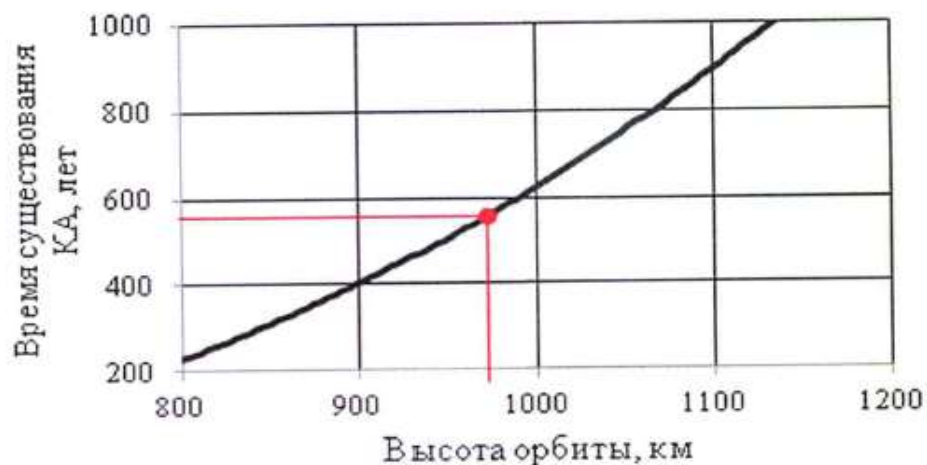


Рисунок 25 Время существования КА с ЭМ в зависимости от высоты орбиты

Источник: Гафаров А.А., Долгуничев К.Д. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности космических аппаратов с ядерными энергетическими установками большой мощности. С.10

На рисунке 26 представлен график, характеризующий число объектов космического мусора (КМ) на орбитах разной высоты. Учитывая наличие в космосе значительного количества объектов естественного и техногенного происхождения, а также для гарантированного обеспечения безопасности эксплуатации энергетического модуля с учетом засоренности околоземного космического пространства высота стартовой РБО принята равной 1200 км.



Рисунок 26 Распределение объектов космического мусора на околоземных орбитах

Источник: Космический мусор. В 2 кн. Кн. 1. Методы наблюдения и модели космического мусора / Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова.. М.: Физматлит. 2014. С 200

На стартовой радиационно-безопасной орбите энергетический модуль разворачивается в рабочее положение, осуществляется запуск ядерной энергоустановки и последующее включение электроракетной двигательной установки, с помощью которой выполняется переход со стартовой на рабочую геостационарную орбиту или иное передвижение в соответствии с программой полета. Геостационарная орбита характеризуется тем, что движущийся по ней космический летательный аппарат является неподвижным относительно наблюдателя, находящегося на Земле. На рабочей орбите или рабочем участке траектории движения дополнительно осуществляется разворачивание целевой аппаратуры и ее энергоснабжение от энергетической установки модуля.

В случае аварийного прекращения функционирования ЭМ в диапазоне радиационно-безопасных орбит, его возврат к Земле возможен не ранее, чем через 1000 лет, при этом накопленная активность продуктов деления снизится до безопасных для населения и окружающей среды уровней.

При штатном завершении функционирования КА с ТЭМ переводится в область захоронения, расположенную выше геостационарной орбиты, с помощью электроракетной двигательной установки. При аварийном прекращении работы ЯЭДУ на геостационарной орбите, увод аппарата с нее осуществляется с использованием бортовой двигательной установки системы ориентации и стабилизации, выполненной на основе жидкостных ракетных двигателей.

3.3. Возмещение ущерба, причиненного космической деятельностью, и обеспечение радиационной безопасности при использовании ядерной энергетики в космосе

Вопросы, связанные с урегулированием ущерба, причиненного в ходе осуществления космической деятельности, регулируются национальным законодательством и международными правовыми актами. В статье 30 Федерального закона № 5663-1 от 29 ноября 1996 года «О космической деятельности» указано, что «Ответственность за вред, причиненный космическим

объектом Российской Федерации при осуществлении космической деятельности на территории Российской Федерации или за ее пределами, за исключением космоса, возникает независимо от вины причинителя такого вреда»⁸⁶.

В соответствии с документом ООН «Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве» (далее по тексту «Принципы...»), принятым Генеральной Ассамблеей ООН в ее резолюции 47/68 от 14 декабря 1992 года: «... использование ядерных источников энергии в космическом пространстве должно основываться на тщательной оценке безопасности, включая вероятностный анализ риска, с особым упором на снижение риска того, что в результате аварий население подвергнется воздействию вредоносного излучения или радиоактивного вещества...»⁸⁷.

Указанный свод принципов содержит цели и руководящие указания, призванные обеспечить безопасное использование ядерных источников энергии (ядерных реакторов и радиоизотопных генераторов) в космическом пространстве.

Согласно «Принципам...» и документа ООН «Рамки обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве», принятого Генеральной Ассамблеей ООН в ее резолюции 64/86 от 10 декабря 2009 года, космические миссии с ядерным источником энергии (ЯИЭ) разрешают, одобряют и осуществляют правительства и соответствующие международные и межправительственные организации⁸⁸. В соответствии с нормами, изложенными в «Принципах...» правительствам, которые разрешают или одобряют космические миссии с ЯИЭ, следует выработать директивы, требования и процедуры обеспечения безопасности. Надлежит установить и соблюдать процедуру выдачи разрешений на запуск систем с космическим ЯИЭ.

⁸⁶ Закон РФ «О космической деятельности» от 20.08.1993 № 5663-1 URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3219/a10ee843c99cf48ced68275b23f8fd19ee0d870f/ (дата обращения: 19.05.2019)

⁸⁷ Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml (дата обращения: 07.08.2019)

⁸⁸ Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml (дата обращения: 07.08.2019); Рамки обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве [Электронный ресурс] // www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_61R.pdf > (дата обращения: 07.08.2019)

При этом в рамках процедуры одобрения правительством миссии следует убедиться в том, что обоснование применения космического ЯИЭ является достаточно аргументированным⁸⁹.

Из «Принципов...» также следует, что запускающее государство должно обеспечить проведение тщательной и всеобъемлющей оценки безопасности до запуска космического летательного аппарата с ЯЭУ. Эта оценка должна охватывать все этапы полета и системы аппарата, включая средства запуска, космическую платформу, ядерный источник энергии и его аппаратуру, а также систему управления и связи. Результаты оценки безопасности должны быть опубликованы до запуска⁹⁰.

Государство, запускающее космический объект с ЯЭУ, обязано своевременно информировать заинтересованные страны в случае обнаружения неисправностей и (или) возникновения опасности радиационного заражения каких-либо территорий. Соответствующая информация, передаваемая также генеральному секретарю ООН должна включать сведения о назначении аппарата и характере возникающей опасности⁹¹.

В соответствии со статьей VII Договора о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела (Договор по космосу, 1967 года)⁹², и положениями Конвенции о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами (Конвенция об ответственности, 1972 года)⁹³, государство, осуществляющее запуск космического объекта, несет международную ответственность за ущерб, причиненный им или его составными частями.

⁸⁹ Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml (дата обращения: 07.08.2019)

⁹⁰ Там же

⁹¹ Там же

⁹² Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outer_space_governing.shtml (дата обращения: 07.08.2019)

⁹³ Конвенция о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/damage.shtml (дата обращения: 07.08.2019)

В «Принципах...» содержатся положения, направленные на обеспечение безопасности использования ядерных реакторов в космическом пространстве. Реакторы не должны выводиться на рабочую мощность до достижения аппаратом эксплуатационной орбиты выхода на межпланетную траекторию. Их конструкция должна исключать возможность перехода в критическое состояние до выхода на эксплуатационную орбиту вследствие взрыва ракеты, нештатного возвращения в атмосферу, падения, погружения в воду или ее проникновения в активную зону⁹⁴.

Изложенные в «Принципах...» положения в значительной степени являются обобщением опыта эксплуатации космических аппаратов с ядерными энергетическими установками первого поколения⁹⁵. В этой связи они допускают возможность использования реакторов в околоземном космосе на орбитах любой высоты, хотя предпочтительным считается использование достаточно высоких орбит (ДВО). Они определяются как орбиты, продолжительность нахождения на которых достаточно велика, чтобы обеспечить достаточный распад продуктов деления. ДВО выбирается из условия минимизации риска для текущих и будущих полетов, а также вероятности столкновения с другими космическими объектами. При эксплуатации спутников с ядерными реакторами на орбитах, характеризующихся меньшей продолжительностью нахождения, чем ДВО, должна использоваться система эффективного и контролируемого удаления реактора.

Согласно «Принципам...», «... за исключением случаев маловероятных аварий, сопряженных с серьезными радиологическими последствиями, конструкция систем ядерных источников энергии с высокой степенью уверенности должна обеспечивать непревышение радиационного облучения ограниченным географическим регионам дозой до принципиального предела в 1 мЗВ в год»⁹⁶. Этот норматив допустимого радиационного облучения населения принят на основе рекомендаций Международной комиссии по радиологической

⁹⁴ Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml (дата обращения: 07.08.2019)

⁹⁵ Там же

⁹⁶ Там же

защите и равен среднему по земному шару уровню облучения населения от окружающей природной среды. Он принят также во всех отечественных документах по обеспечению радиационной безопасности при использовании атомной энергии, таких как Федеральный закон от 09.01.1996 №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009, Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. Этот же норматив используется в принятых Ростехнадзором в соответствии с Федеральным законом от 21.11.1995 №170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами» (НП-101-17), которые введены в действие с 1 декабря 2017 года. Принципиальным отличием этого документа является расширение перечня принципов безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами. Так, эксплуатация КА с ЯР возможна на рабочей орбите, расположенной не ниже радиационно-безопасной. Время существования аппарата на орбите должно быть достаточным для распада продуктов деления и радионуклидов, активированных в элементах конструкции, до уровня, установленного в проекте и нормативной документации⁹⁷ (далее по тексту «Общие положения обеспечения безопасности...»). Таким образом, данный отечественный нормативный документ устанавливает более жесткие требования к обеспечению безопасности по сравнению с другими, в том числе международными. Соответствующее ограничение установлено на область использования ТЭМ в утвержденном в 2010 году техническом задании.

Отмеченная в «Общих положениях обеспечения безопасности...» система технических и организационных мер по обеспечению безопасности ядерной

⁹⁷Общие положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами (НП-101-17). [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283142/2ee99c98c93f54276dbaa740fbc647f95d0beed4/ (дата обращения: 07.08.2019)

энергетической установки КА, должна быть изложена в Отчете по обоснованию безопасности (ООБ) ЯЭУ КА на весь срок эксплуатации⁹⁸.

3.4. Статистика запусков и аварий космических аппаратов с ядерными энергетическими установками и радиоизотопными генераторами

С 1970 по 1988 годы в нашей стране с космодрома "Байконур" осуществлен запуск 34 космических аппаратов с ядерными энергетическими установками на борту⁹⁹. 32 КА представляли собой спутники системы морской космической разведки и целеуказания типа УС-А (УС-АМ) с ЯЭУ БЭС-5 («Бук»). Высота рабочей орбиты спутника 265 км. Для перевода объектов на радиационно-безопасные орбиты после выработки ресурса или в аварийных ситуациях использовалась система увода. На случай аварийного возвращения на Землю при отказе этой системы предусматривалась возможность аэродинамического диспергирования (дробления на мелкие фрагменты) активной зоны ЯЭУ до частиц размером порядка десяти микрон и рассеивания их на площади в сотни квадратных километров.

В процессе одного из запусков произошла авария ракеты-носителя, в результате которой спутник не вышел на орбиту и упал в Тихий океан. В двух других случаях не сработала система увода на РБО, однако благодаря аэродинамическому диспергированию радиационная опасность не возникала.

В 1978 году произошло падение спутника «Космос-954» с ЯЭУ БЭС-5 на территорию Канады, вызвавшее мировой резонанс несмотря на отсутствие жертв среди населения и какого-либо имущественного ущерба. Причиной явилось падение приблизительно ста радиоактивных фрагментов на территорию площадью около 100 тыс. км². Активность некоторых из них превышала норму и

⁹⁸ Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие» положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами» (НП-101-17) [URL: <http://docs.cntd.ru/document/542610490> (дата обращения: 07.08.2019

⁹⁹ Первые ядерные энергетические установки в космосе. [Электронный ресурс] // www.biblioatom.ru [сайт]. URL: <http://www.biblioatom.ru/evolution/dostizheniya/pervye-yadernye-ustanovki-v-kosmose/>; Карасев П.А. Ядерные энергетические установки в космосе [Электронный ресурс] www.proatom.ru – Информационное агентство «ПРОАтом» [сайт]. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=995> (01.02.2016)

составляла около 200 рентген/час. СССР предлагал помощь в поиске фрагментов КА и проведении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности в соответствии с принятыми под эгидой ООН Соглашением о спасании космонавтов, возвращении космонавтов и возвращении объектов, запущенных в космическое пространство (1968 г.), а также Конвенцией о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами (1972 г.) (далее по тексту «Конвенция о международной ответственности...»). Однако канадские специалисты провели все необходимые работы, воспользовавшись помощью США. По их завершении канадская сторона выставила СССР претензию, используя «соответствующие критерии, установленные общими принципами международного права, согласно которым справедливая компенсация рассчитывается на основе включения в претензию лишь тех расходов, которые носят разумный характер, непосредственно обусловленный вторжением спутника и его остатками, и которые могут быть рассчитаны с разумной степенью точности»¹⁰⁰.

Формулируя претензию, Канада основывалась на ст. II и ст. XII Конвенции о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами (1972 год), а также ст. VII Договора о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела (1967 год).

СССР официально подтвердил и признал факт гибели своего спутника над территорией Канады. Однако в связи с отсутствием надлежащей международно-правовой базы советской стороной было отказано в компенсационных выплатах вследствие того, что:

- в «Конвенции о международной ответственности...» ущерб определяется как «...лишение жизни, телесное повреждение или иное повреждение здоровья, уничтожение или повреждение имущества государства, или физических и

¹⁰⁰ Canada, Claim Against the USSR for Damage Caused by Soviet Cosmos 954, 23 January 1979 // International legal materials. Vol 18 (1979). P. 906

юридических лиц, или международных межправительственных организаций» (ст. 1а)¹⁰¹;

- в положениях «Конвенции о международной ответственности...» не упоминается об ущербе, нанесенном космическим объектом окружающей среде, а также радиационном загрязнении¹⁰²;

- СССР оперативно предложил содействие в осуществлении операции по зачистке и ликвидации последствий гибели спутника, ссылаясь на ст. II и V Соглашения о спасении космонавтов, возвращении космонавтов и возвращении объектов, запущенных в космическое пространство (1968 год). В связи с тем, что Канада воспользовалась помощью США, СССР использовал указанные статьи для обоснования позиции по сокращению суммы компенсационной выплаты.

В результате длительных переговоров СССР не признал канадскую претензию, однако выплатил 3 млн канадских долларов, что составило половину изначально запрашиваемой суммы.

В 1982 году произошло падение спутника «Космос-1402» в южной части акватории Атлантического океана.

В 1987 году были успешно осуществлены запуски двух экспериментальных КА «Плазма-А» с ЯЭУ ТЭУ-5 («Тополь», ТОПАЗ). Спутники выводились на рабочие радиационно-безопасные орбиты с высотой около 800 км, в связи с чем на них не была предусмотрена дополнительная система увода на РБО¹⁰³.

В 1965 году в США выведен на околоземную орбиту единственный КА с ядерной энергетической установкой SNAP-10A. ЯЭУ была отработана на аэродинамическое диспергирование при аварийном входе в атмосферу Земли. Вместе с тем, для повышения безопасности КА выводился на радиационно-безопасную рабочую орбиту высотой 1300 км¹⁰⁴.

¹⁰¹ Конвенция о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/damage.shtml

¹⁰² Там же

¹⁰³ Карасев П.А. Ядерные энергетические установки в космосе URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=995> (01.02.2016)

¹⁰⁴ Mason, Lee; Sterling Bailey, Ryan Bechtel, John Elliott, Jean-Pierre Fleurial and others Small Fission Power System Feasibility Study [Электронный ресурс] // www.nap.edu [сайт]. <https://www.nap.edu/resource/13117/App%20G%20Tech%202%20Small%20Fission%20Power%20System.pdf> (дата обращения 10.08.2019)

Таким образом, к настоящему времени в мире осуществлены запуски 35 КА с ядерными энергоустановками. Только в одном случае аппарат не был выведен на околоземную орбиту из-за аварии ракеты-носителя. Три КА были переведены на РБО, при этом продолжительность пребывания одного из них превысила в 2019 году 50 лет, а двух других – 28 лет.

Начиная с 1961 года по настоящее время, в мире осуществлен запуск 38 космических аппаратов с радиоизотопными генераторами (РИГ) тепловой, электрической и комбинированной энергии, из них 31 – в США, 6 – в СССР/РФ, 1 – в Китае. На околоземные орбиты запущены 12 КА с РИГ, из них 10 американских и 2 советских. Остальные РИГ использовались на межпланетных КА, в том числе лунных пилотируемых по программе Apollo. Об эффективности технических решений по сохранению радиоизотопного топлива свидетельствуют два возвращенных в целом состоянии со дна океана РИГ SNAP-19 после аварии 18 мая 1968 года американской ракеты-носителя со спутником Nimbus B-1, а также возвращенный в целом состоянии радиоизотопный тепловой блок для системы обогрева «Лунохода» после аварии РН «Протон» в 1969 году¹⁰⁵.

В процессе осуществления запусков космических аппаратов с радиоизотопными генераторами с 1964 по 1996 г. произошло 5 аварий, из них 3 аварии РН на участке выведения на околоземную орбиту, одна – в результате отказа разгонного блока для вывода аппарата на межпланетную траекторию и одна авария из-за повреждения системы энергоснабжения лунного КА. Следует отметить, что во всех аварийных случаях опасного воздействия РИГ на население и окружающую среду не произошло. Страхование отечественных КА с РИГ не проводилось¹⁰⁶. Сведений о страховании американских КА с РИГ обнаружить не удалось.

Таким образом, при запусках 73 космических летательных аппаратов с ядерными энергетическими установками и радиоизотопными генераторами

¹⁰⁵ Яковлев О.В. Системный анализ безопасности и риска космической ядерной энергетики [Электронный ресурс] // www.vestnik.vsu.ru – Научный журнал Вестник Воронежского Государственного Университета [сайт]. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2011/02/2011-02-09.pdf> (08.08.2019)

¹⁰⁶ Лисов И. Запуск и полет станции «Марс-96». – Новости космонавтики, 23 октября – 17 ноября 1996 г., том 6, №22-23, с.42-52.

различных типов произошло восемь аварий, в том числе четыре- на участке выведения ракетой-носителем на околоземную орбиту, одна- в результате отказа разгонного блока на этапе выведения на межпланетную траекторию, три- в результате отказа бортовых систем КА.

Наличие ядерной реакторной установки в составе современного транспортно- энергетического модуля не приведет к необходимости значительной модернизации средств выведения. Соответствующая задача может решаться с использованием носителей тяжелого класса. До недавнего времени единственным отечественным тяжелым носителем являлся «Протон-М». В декабре 2014 года состоялся первый запуск новой ракеты «Ангара», выполненной по модульному принципу и имеющей модификацию с характеристиками носителя тяжелого класса.

3.5. Оценка рисков при страховании запусков космических аппаратов

3.5.1. Оценка риска ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц при аварийных запусках перспективных космических аппаратов

Реализация любого космического проекта связана с возникновением различных рисков практически на всех этапах его жизненного цикла. Наибольшими рисками, реализация которых может привести к появлению значительного ущерба, характеризуется этап запуска. В этой связи рассмотрение подходов к оценке таких рисков приобретает особую актуальность. Риски более ранних этапов жизненного цикла космической техники, как правило, связаны с организационными аспектами деятельности предприятий отрасли.

При использовании того или иного метода управления рисками последние группируются по вероятности наступления и величине возможного ущерба. На этапе запуска вероятность нештатной ситуации во многом определяется надежностью функционирования элементов и узлов ракеты-носителя. Величина возможного ущерба может быть спрогнозирована на основе данных о стоимости

космического проекта (совокупная величина затрат на его реализацию), оценочных значений экологического ущерба и ущерба, причиненного жизни, здоровью и имуществу третьих лиц.

Перед запуском осуществляется комплекс мероприятий, направленных на установление параметров траектории выведения КА и основанных на анализе характеристик средств выведения, предполагаемой рабочей орбиты, а также расположения объектов космической инфраструктуры на Земле. В результате оптимизируются географические районы падения отработавших ступеней ракеты для минимизации показателя риска причинения ущерба третьим лицам. Непосредственно перед пуском осуществляются мероприятия по контролю за территорией предполагаемой трассы выведения. В случае запуска принципиально нового космического аппарата с использованием ракеты-носителя нового поколения выполнение соответствующих мероприятий требует особого внимания.

При осуществлении страхования рисков запуска всесторонне анализируются его цели и задачи, модификация ракеты-носителя, космического аппарата, характеристики их элементов и узлов, предполагаемые сроки запуска и орбитальной эксплуатации, параметры трассы выведения и др. На основе обобщения полученной информации и ее последующей проверки проводится оценка принимаемых на страхование рисков.

Для повышения точности оценки риска причинения вреда жизни, здоровью и имуществу третьих лиц необходимо всестороннее исследование географических районов возможного причинения ущерба в случае аварии. В случае использования нового средства выведения требуется оценка максимальной величины ущерба в случае гибели ракеты-носителя и космического аппарата. Разработанная автором модель позволяет оценить максимальные геометрические размеры и географическое расположение зоны возможного причинения ущерба в случае аварии при запуске на геостационарную орбиту космического аппарата с ядерной энергодвигательной установкой. Проанализированы доступные данные, характеризующие полет РН «Протон-М» с космическим аппаратом при запуске с

космодрома Байконур (таблица 9). Вычисления осуществлены с использованием программы RStudio с учетом предположений о приближительной однородности геометрии осколков, образующихся при взрыве ракеты-носителя, и их последующем разлете в условиях отсутствия сопротивления воздуха. Обоснованность таких предположений подтверждается, с одной стороны, необходимостью установления границ коридора максимальной площади, а с другой стороны, отсутствием возможности обоснованного выбора закона распределения формы и размеров осколков, образовавшихся в результате аварии. Действительно, пренебрежение сопротивлением воздуха позволяет утверждать, что в результате потенциально возможной аварийной ситуации при запуске пятно зоны поражения будет разве, что только меньше рассчитанного и, одновременно, не прибегать к использованию неочевидных предположений о размерах падающих фрагментов.

Таблица 9 Промежуточные данные полета РН «Протон-М»

Этап	Время (с)	Скорость (м/с)	Высота (м)
Старт	0	0	0
Работа двигателей первой ступени	65,5	465	11000
Отделение первой ступени	123,4	1724	42000
Отделение второй ступени	335,2	4453	120000
Отделение головного обтекателя	348,3	4497	123000
Отделение третьей ступени	588,4	7182	151000

В таблице 9 представлены данные, характеризующие промежуточные точки траектории полета РН «Протон-М» и позволяющие выявить зависимость между скоростью и высотой полета от времени. На рисунке 27 приведен график близкой к линейной зависимости скорости РН от времени:

$$V=at \text{ (1),}$$

где V – скорость полета РН, $a= 12,56 \text{ м/с}^2$ – ускорение, t – время полета.

Используя значение ускорения можно определить скорость и ортодромную дальность $\frac{at^2}{2}$ в любой момент времени.

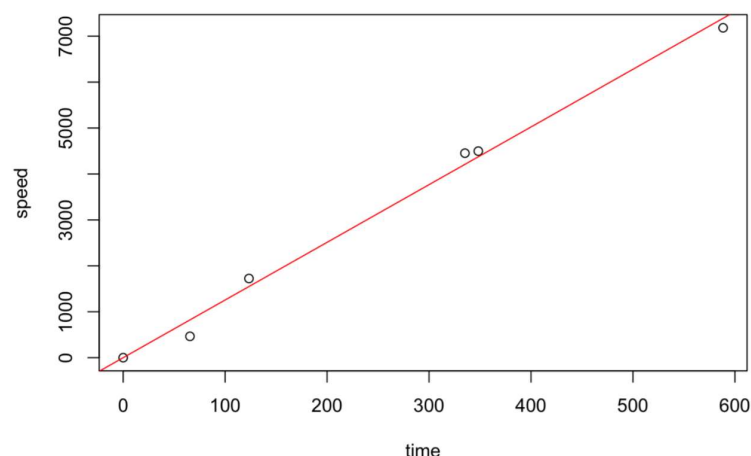


Рисунок 27 Зависимость скорости полета РН от времени

Источник: построено автором

Значения высоты полета в промежуточные моменты времени (рисунок 28) определены на основе интерполяции естественными сплайнами.

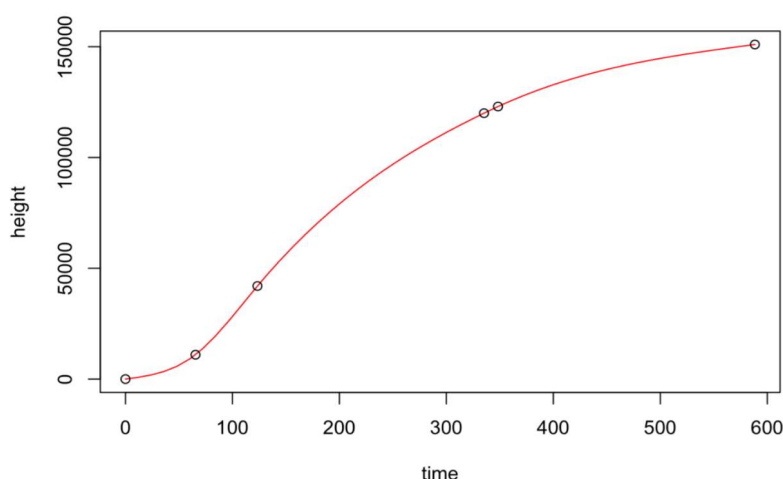


Рисунок 28 Зависимость высоты полета РН от времени

Источник: построено автором

На рисунке 28 представлен график зависимости высоты полета РН от времени полета.

Основной задачей, решаемой в результате реализации формулируемой модели, является определение траектории полета фрагментов РН и КА в случае аварии при запуске, сопряженной с взрывом. Падающий фрагмент будет двигаться по эллиптической орбите, пересекающей поверхность Земли. Расчет

расстояния от точки начала падения до места приземления основан на решении задачи Кеплера.

Энергия падающего объекта:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{k}{r} \quad (2),$$

где $k = -GmM$ (G – гравитационная постоянная, M – масса Земли, m – масса фрагмента РН после взрыва).

Выражение для определения момента импульса фрагмента имеет вид:

$$L = m\dot{\theta}r^2 \quad (3),$$

где L – момент импульса объекта; $(r; \theta)$ – полярные координаты.

В соответствии с решением задачи Кеплера падающий объект движется до момента падения на Землю по эллиптической траектории вида:

$$r = \frac{p}{1+e \cos \theta} \quad (4),$$

где

$$p = -\frac{L^2}{km} \quad (5),$$

$$e = \sqrt{1 + \frac{2EL^2}{k^2m^2}} \quad (6)$$

Если в начальный момент времени ракета-носитель летит на высоте h горизонтально со скоростью V , тогда

$$L = (R + h)mV \quad (7),$$

$$E = \frac{mV^2}{2} + \frac{k}{R+h} \quad (8),$$

где R - радиус Земли.

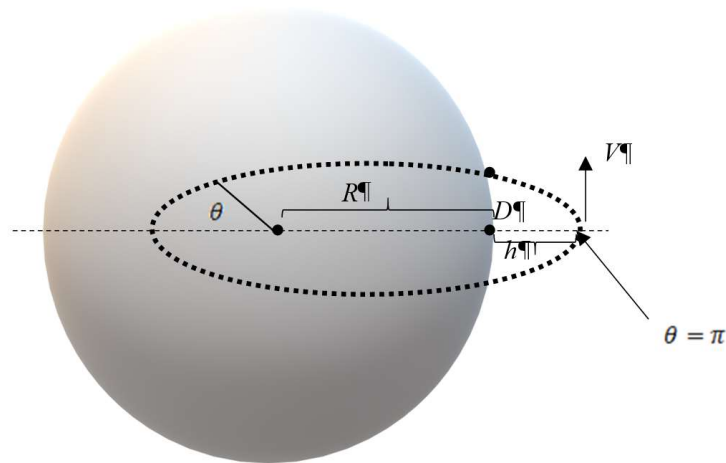


Рисунок 29 Схема траектории полета фрагментов РН и КА

Источник: построено автором

Из представленных выше соотношений следует необходимость задания начальной скорости движения появляющихся в результате аварии фрагментов ракеты-носителя и космического аппарата. Используемые для оценки значения этой скорости методы и подходы изложены в работе¹⁰⁷. Согласно представленным автором результатам проведенных исследований скорость разлета образующихся при взрыве фрагментов зависит от вида используемых горючего и окислителя, определяющих скорость детонации, и при проведении оценочных расчетов может приниматься равной 10^3 м/с.

На рисунке 29 представлена схема траектории падения фрагментов РН и КА. В момент начала падения объект находится в афелии орбиты, то есть в точке $\theta = \pi$. Значение угла θ , соответствующее точке приземления, находится как точка пересечения эллипса и окружности с радиусом R из условия

$$R = \frac{p}{1 + e \cos \theta}.$$

¹⁰⁷ С.Ю.Улыбышев. Определение скоростей детонации и разлета осколков при взрыве ракеты-носителя. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Исследования и разработки. № 1, с. 65-69

Расстояние от точки начала падения до точки приземления равно:

$$D = (R + h)(\pi - \theta) \quad (9),$$

где

$$\theta = \frac{\arccos(p-R)}{eR} \quad (10)$$

Продолжительность падения фрагментов определяется из второго закона Кеплера.

$$T = \frac{2m}{L} \left(\frac{\pi ab}{2} - \frac{ab}{2} (E_a - e \sin E_a) \right) \quad (11),$$

где

$$E_a = 2 \arctg \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \right) \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \quad (12),$$

$$a = \frac{p}{1-e^2} \quad (13),$$

$$b = a \sqrt{1 - e^2} \quad (14)$$

Величины a и b характеризуют полуоси эллипса. Стартовый азимут ракеты β и наклонение ее опорной орбиты i связаны соотношением:

$$\sin \beta = \frac{\cos i}{\cos \varphi} \quad (15),$$

где φ – географическая широта космодрома.

Если в момент взрыва долгота и широта составляют соответственно λ_1 и φ_1 , азимут равен β , а расстояние до точки падения – D , долгота и широта этой точки λ_2 , φ_2 могут быть определены с использованием следующих выражений:

$$\varphi_2 = \arcsin (\sin \varphi_1 \cos \delta + \cos \varphi_1 \sin \delta \cos \beta) \quad (16),$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \arctg \frac{\sin \theta \sin \delta \cos \varphi_1}{\cos \delta - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2} \quad (17),$$

где δ – угловое расстояние D/R



Рисунок 30 Трасса выведения РН «Протон-М» с космодрома Байконур на геостационарную орбиту

Источник: построено автором

На рисунке 30 представлена схема трассы выведения ракеты-носителя «Протон-М» с космодрома Байконур на геостационарную орбиту ($i = 51,5$). Кружками отмечено местоположение РН с интервалом 12,0081633 секунды первые 588,4 секунды полета. Далее полет осуществляется на высоте более 151 км за счет работы разгонных блоков КА.

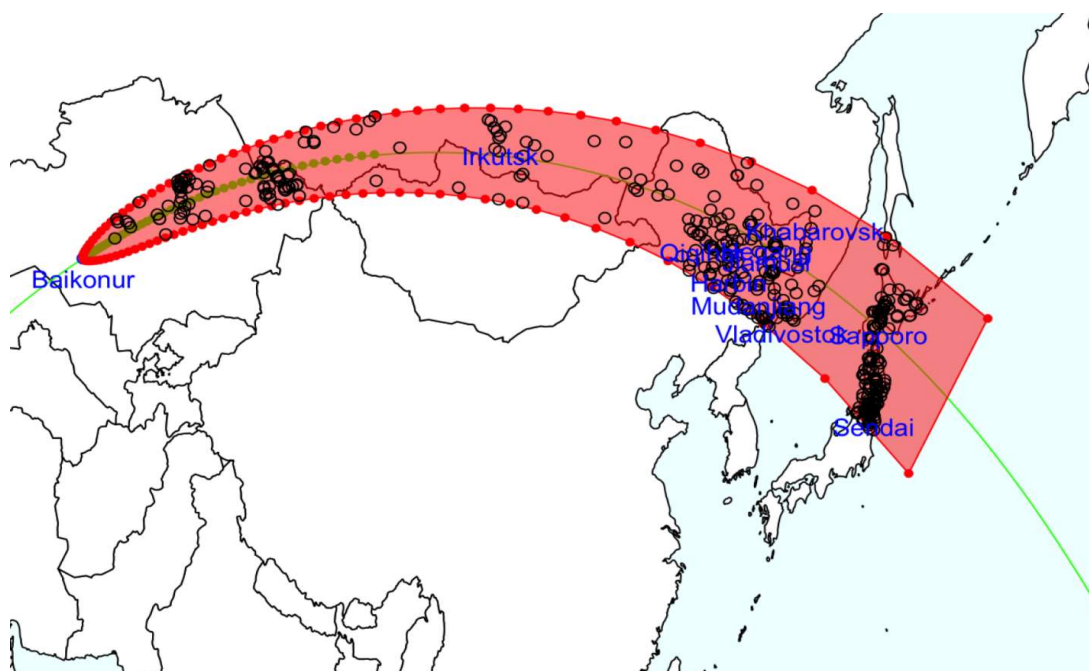


Рисунок 31 Максимальная зона поражения в случае гибели РН «Протон-М» на этапе запуска с космодрома Байконур

Источник: построено автором

На рисунке 31 представлены результаты расчетных исследований, характеризующие максимально возможную зону падения фрагментов в случае аварии ракеты-носителя «Протон-М» при старте с космодрома Байконур. На карте представлены названия наиболее крупных городов.

Аналогичные вычисление проведены с учетом перспективной возможности запуска РН «Протон-М» с космодрома Восточный. Перечень городов и городских районов, попадающих в зоны возможного поражения, представлены в приложении 3.

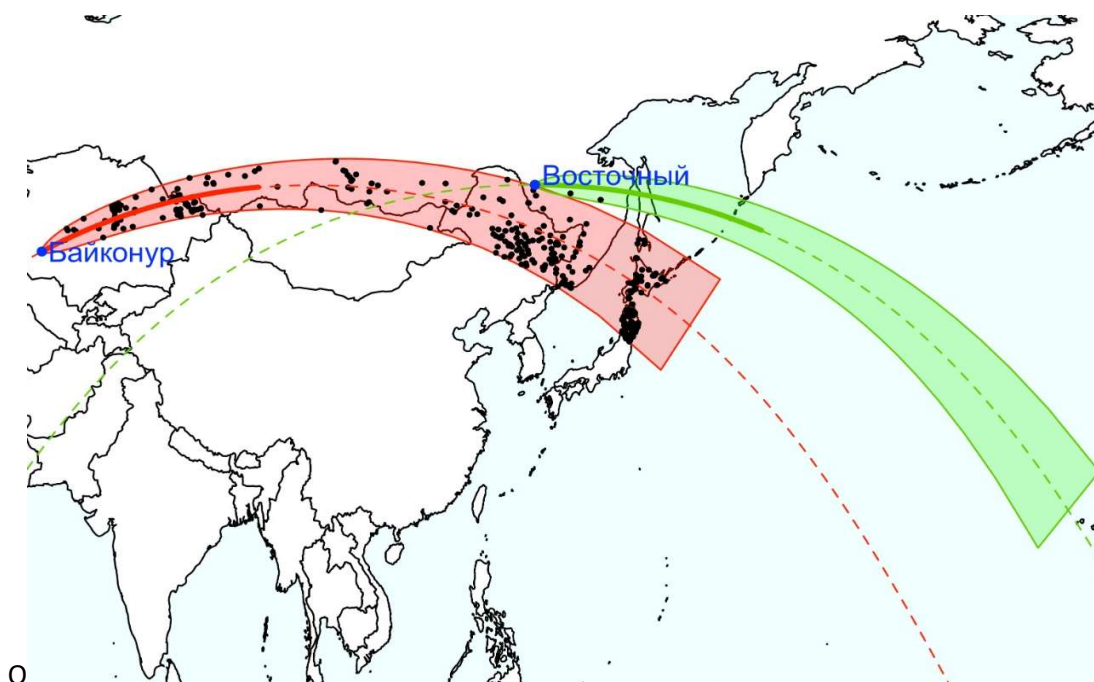


Рисунок 32-а Сопоставление географического расположения максимально возможных зон поражения в случае аварии РН «Протон-М» при запусках с космодромов "Баиконур" и «Восточный»



Рисунок 32-б Сопоставление географического расположения максимально возможных зон поражения в случае аварии РН «Протон-М» при запусках с космодромов "Баиконур" и «Восточный» на географической карте

Источник: построено автором

На рисунке 32-а представлено сопоставление географического расположения зон возможного падения фрагментов в случае аварии РН «Протон-М» при старте с космодромов Байконур и Восточный. Для большей наглядности соответствующие коридоры отмечены на размещенной на рисунке 32-б географической карте Евразии.

Даже беглый анализ представленных данных позволяет сделать очень важный вывод о том, что значение вероятности поражения аварийными фрагментами ракеты-носителя и выводимого космического аппарата объектов инфраструктуры в случае запуска с космодрома Восточный несопоставимо меньше, нежели с космодрома Байконур. Это объясняется как расположением "Восточного" коридора, большая часть которого относится к океану, так и существенно меньшей суммарной площадью населенных пунктов и проживающего в них населения по сравнению с коридором "Байконура". Соответствующий вывод подтверждается результатами расчетов, представленных в таблице 10. При их осуществлении использовалось предположение о равновероятном приземлении фрагментов в границах коридора в случае аварии. Таким образом, вероятность попадания в объект инфраструктуры (город, городской район) считалась равной отношению его площади к общей площади коридора.

Таблица 10 Вероятность попадания фрагментов космического аппарата в объекты инфраструктуры

Космодром	Площадь области приземления (км ²)	Площадь объектов инфраструктуры (км ²)	Вероятность попадания в объект инфраструктуры
Байконур	4067361,383	359764,6	0,088452
Восточный	4067087,843	588,66	0,000145

Источник: построено автором

Важно отметить, что вероятность наступления риска ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц при запуске космического аппарата, будет значительно меньше указанной в таблице 10, т.к.

определяется произведением вероятностей попадания в объект инфраструктуры и возникновения аварии при старте, рассчитываемой в работе ниже.

На основе анализа полученных результатов может быть обоснована рекомендация, касающаяся выбора космодрома для реализации первого запуска не имеющего мировых аналогов космического аппарата с ядерной энергодвигательной установкой мегаваттного уровня мощности. Использование для решения этой задачи космодрома Восточный является предпочтительным ввиду:

- его расположения на территории Российской Федерации;
- несопоставимо меньшей вероятности наступления ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц;
- существенно меньшей стоимости страхования риска ответственности перед третьими лицами за причинение вреда жизни, здоровью и имуществу.

В заключении раздела следует еще раз отметить, что полученные оценки вероятности наступления риска ответственности за ущерб, причиненный жизни, здоровью и имуществу третьих лиц при аварийном запуске, являются максимальными. Практически реализуемые значения этого показателя могут быть разве, что только меньше приведенных из-за наличия сопротивления воздуха, обуславливающего сужение коридора возможного приземления фрагментов, а также не учитываемой при проведении расчетов вероятности их сгорания при распространении со значительными скоростями в плотных слоях атмосферы.

3.5.2. Оценка риска причинения ущерба имуществу при потере космического аппарата, выводимого ракетой-носителем нового поколения

На период с 2016 по 2025 годы в Федеральной космической программе определены задачи, связанные с разработкой базовых космических летательных аппаратов для использования при решении задач исследования планет Солнечной системы. Необходимость создания новых КА определяет важность создания новых и совершенствования используемых средств выведения, а также

актуальность исследования вопросов, связанных с оценками рисков эксплуатации РН нового типа.

Ввиду того, что методы оценки рисков запуска носителей основываются на использовании статистической информации предыдущих пусков и показателей надежности их отдельных элементов и систем, в случае с новой РН требуемых данных будет недостаточно. Действительно, при многократном использования носителя могут быть выявлены возможные технические несовершенства, которые постепенно устраняются. Это повышает качество и надежность рассматриваемой РН. Оценка рисков запусков РН, находящихся в производстве длительное время, как правило, не в полной мере учитывают их несовершенства на ранних стадиях эксплуатации.

В этой связи, для оценки рисков потери КА, выводимого РН нового поколения, можно использовать подход, предложенный работе «Synthesizing a new launch vehicle failure probability based on historical flight data» R.B. Cross и W.E. Vesely¹⁰⁸. Согласно их методу возможна оценка рисков исходя из данных о результативности первых двух запусков американских РН нового типа, а также о причинах отказа отдельных элементов и узлов. Авторы создают «смоделированный тип» ракеты-носителя, для которой известны вероятности отказа основных компонентов.

Для построения модели на основе такого подхода собраны данные, представленные в таблице 11, характеризующие результативность первых трех запусков отечественных ракет-носителей нового типа (или усовершенствованных модификаций ракет-носителей предыдущего поколения) с 1960 по 2018 годы, а также причины произошедших аварий.

¹⁰⁸ Cross R.B. Vesely W.E. Synthesizing a new launch vehicle failure probability based on historical flight data. URL: http://www.iapsam.org/psam14/proceedings/paper/paper_281_1.pdf

Таблица 11 Данные, характеризующие первые три запуска новых (или модернизированных) основных отечественных ракет-носителей, произведенных за период с 1960 по 2019 годы

Тип ракеты-носителя	Запуск 1	Запуск 2	Запуск 3	Причина аварии при первом запуске	Причина аварии при втором запуске	Причина аварии при третьем запуске
Восток-Л 8K72	аварийный	аварийный	аварийный	Ошибка системы ориентации	Ошибка третьей ступени	Ошибка первой ступени
Космос 63C1	аварийный	аварийный	успешный	Отказ бортового прибора регулирования скорости	Авария двигателя второй ступени	
Восток-Л 8K72К	аварийный	успешный	успешный	Ошибка третьей ступени		
Восток-2 8A92	аварийный	успешный	успешный	Ошибка третьей ступени		
Полет	успешный	успешный	успешный			
Восход	успешный	успешный	успешный			
Восток-2М	успешный	успешный	успешный			
Космос 65C3	успешный	аварийный	успешный		Ошибка первой ступени	
Молния м	успешный	успешный	успешный			
Космос 11K63	успешный	успешный	успешный			
Союз 11A510	успешный	успешный				
Союз 11A511	успешный	аварийный	успешный		Сбой автоматики	
Космос 3М	успешный	успешный	успешный			
Циклон-2А	успешный	успешный	успешный			
Протон К	аварийный	аварийный	аварийный	Разрушение разгонного блока	Разрушение головного обтекателя	Отказ двигателя первой ступени
УР-500	успешный	успешный	аварийный			Отказ двигателя 2 ступени
Союз Л	успешный	успешный	успешный			
Союз М	успешный	успешный	успешный			
Союз У	успешный	успешный	успешный			

Тип ракеты-носителя	Запуск 1	Запуск 2	Запуск 3	Причина аварии при первом запуске	Причина аварии при втором запуске	Причина аварии при третьем запуске
Циклон-3	успешный	успешный	успешный			
Союз У2	успешный	успешный	успешный			
Союз У ПВБ	успешный	успешный	успешный			
Зенит-2	успешный	успешный	успешный			
Энергия	успешный	успешный				
Рокот	успешный	успешный	успешный			
Днепр	успешный	успешный	успешный			
Зенит 3SL	аварийный	успешный	успешный	Отказ двигателя первой ступени		
Союз ФГ	успешный	успешный	успешный			
Протон М	успешный	успешный	успешный			
Союз 2.1а	успешный	успешный	аварийный			Нештатное разделение третьей ступени с кораблем "Прогресс"
Союз 2.1б	успешный	успешный	успешный			
Союз СТБ	успешный	успешный	успешный			
Союз 2.1в	успешный	аварийный	успешный		Нештатное отделение от разгонного блока	
Ангара 1.2	успешный					
Ангара А5	успешный					

Источник: построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2020]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)

В дальнейшем для расширения выборки рассмотрена результативность первых трех запусков основных видов отечественных носителей с 1960 по 2018 годы. Столь широкий временной диапазон выбран для обеспечения всестороннего учета статистической информации по запускам новых РН, исключая начальный период развития ракетно-космической промышленности с 1957 по 1959 годы, характеризующийся повышенной аварийностью. В итоге из 99 запусков, осуществленных с использованием РН нового типа, 16 оказались неудачными.

Каждая ракета-носитель имеет несколько ступеней, бортовое оборудование, головной обтекатель, а также один или несколько разгонных блоков, который после штатной работы всех двигателей обеспечивает вывод КА на заданную орбиту. Схема запуска КА, как правило, предполагает работу РН с последовательным отделением отработавших ступеней, головного обтекателя и разгонного блока после вывода полезной нагрузки на заданную орбиту. В приложении 4 представлены некоторые технические характеристики рассматриваемых носителей.

Данные таблицы 12 характеризуют количество отказов элементов РН определенного типа, общее число элементов каждого типа РН, а также вероятность их отказов.

Таблица 12 Вероятность отказа в функционировании систем и узлов в ходе трех первых запусков РН (вариант 1)

Тип причины	Количество отказов	Количество элементов в рассматриваемых РН	Вероятность отказа
Ошибка 1 ступени	4	99	0,0404
Ошибка 2 ступени	2	99	0,0202
Ошибка 3 ступени	3	56	0,0536
Сбой в работе бортового оборудования	3	99	0,0303
Разрушение разгонного блока	1	99	0,0101
Разрушение головного обтекателя	1	99	0,0101
Нештатное отделение КА / разделение ступеней	2	459	0,0044
Всего отказов:	16		

Источник: построено автором

Таким образом, наиболее частыми причинами аварий новых ракет-носителей является нештатная работа двигателей первой и третьей ступеней.

На основе проведенных расчетов можно оценить вероятность нештатной работы одного из элементов «смоделированной» версии ракеты-носителя.

Далее соответствующие расчеты выполняются для новой ракеты-носителя «Ангара- А5М», являющейся базовой для выведения КА с ЯЭДУ. Этот носитель тяжелого класса имеет три ступени, один головной обтекатель, навигационное оборудование, а также один разгонный блок. В таблице 13 представлены данные, характеризующие вероятность наступления нештатных ситуаций для «смоделированного» типа ракеты-носителя. Значение вероятности аварии рассматриваемой РН рассчитывается как разность единицы и вероятности успешного запуска¹⁰⁹ и равна 0,1727 (таблица 13).

Таблица 13 Вероятность наступления аварии для смоделированной версии РН (вариант 1)

Название элемента	Вероятность отказа элемента	Надежность элемента или вероятность штатного выполнения операций	Число элементов в РН
1 ступень	0,0404	0,9596	1
2 ступень	0,0202	0,9798	1
3 ступень	0,0536	0,9464	1
Бортовое оборудование	0,0303	0,9697	1
Разгонный блок	0,0101	0,9899	1
Головной обтекатель	0,0101	0,9899	1
Кол-во операций отделения	0,0044	0,9956	5
Вероятность аварии (с учетом числа элементов)		0,1727	

Источник: построено автором

¹⁰⁹ Вероятность аварии $P_o = 1 - (1-a_1)^{n_1} \times (1-a_2)^{n_2} \times \dots \times (1-a_n)^{n_i}$, где $(1-a_1), (1-a_2), \dots, (1-a_n)$ – надежность соответствующего элемента или вероятность штатного выполнения операций выведения КА; $n_1, n_2 \dots n_i$ – количество соответствующих элементов в РН или запланированных для выведения КА операций; $n=i$.
Успешный запуск – запуск, в ходе которого все ключевые элементы и системы работают штатно.

Следует отметить, что анализировать и моделировать вероятность возникновения отказов различных элементов разного типа можно в зависимости от располагаемой статистической информации.

С использованием данных приложения 4 может быть предложена более узкая классификация причин аварий ракет-носителей при трех первых запусках (таблица 14). Однако ввиду недостаточности информации по техническим характеристикам некоторых видов ракет-носителей общая выборка была также пересмотрена.

Таблица 14 Вероятность отказа в функционировании систем и узлов в ходе трех первых запусков РН (вариант 2)

Тип причины	Количество отказов	Количество элементов в рассматриваемых РН	Вероятность отказа
Ошибка двигателей 1 ступени	3	254	0,0118
Ошибка двигателей 2 ступени	2	122	0,0164
Ошибка двигателей 3 ступени	2	59	0,0339
Сбой в работе бортового оборудования	3	76	0,0395
Разрушение разгонного блок	1	76	0,0132
Разрушение головного обтекателя	1	76	0,0132
Нештатное отделение КА / разделение ступеней	2	353	0,0057
Всего отказов:	14		

Источник: построено автором

Таблица 14 содержит данные, характеризующие количество отказов элементов РН каждой категории, их общее число и вероятность отказа.

Результаты расчета вероятности наступления аварии «смоделированного» типа ракеты-носителя на основе обновленных данных приведены в таблице 15. Ввиду изменения выборки и классификации причин аварии, итоговое значение ее вероятности увеличилось до 0,1908.

Таблица 15 Вероятность наступления аварии для смоделированной версии РН (вариант 2)

Название элемента	Вероятность отказа элемента	Надежность элемента или вероятность штатного выполнения операций	Число элементов в РН
Двигатели первой ступени	0,0118	0,9882	4
Двигатели второй ступени	0,0164	0,9836	1
Двигатели третьей ступени	0,0339	0,9661	2
Бортовое оборудование	0,0395	0,9605	1
Разгонный блок	0,0132	0,9868	1
Головной обтекатель	0,0132	0,9868	1
Кол-во операций отделения	0,0057	0,9943	5
Вероятность аварии (с учетом числа элементов)		0,1908	

Источник: построено автором

В процессе эксплуатации, сопряженной с совершенствованием элементов и узлов изделия, надежность ракеты-носителя увеличивается.

При проектировании ракеты-носителя нового типа могут использоваться некоторые элементы и системы, применяемые на средствах выведения предыдущего поколения. Их технические характеристики соответствуют требованиям, предъявляемым к новым изделиям при высокой надежности функционирования. В этом случае при оценке рисков запуска носителя нового поколения представляется целесообразным введение понижающих коэффициентов, учитывающих результативность функционирования отдельных элементов. Используемая система коэффициентов имеет в этом случае следующий вид:

1. 1 –коэффициент, применяющийся для новых элементов и систем, не использовавшихся на носителях предыдущего поколения при условии отсутствуют дополнительных мер, направленных на повышение надежности.

2. 0,7 – коэффициент, применяющийся для новых элементов и систем, не использовавшихся на носителях предыдущего поколения при условии принятия дополнительных мер, направленных на повышение надежности.

3. 0,5 – коэффициент, применяющийся для элементов и систем, ранее успешно эксплуатировавшихся на носителях предыдущего поколения.

В таблице 16 приведены возможные к использованию в ходе оценки надежности эксплуатации отдельных элементов и систем новой ракеты-носителя «Ангара- А5М» коэффициенты.

Таблица 16 Сравнение основных технических характеристик ракет-носителей «Ангара-А5» и «Ангара-А5М»

Элемент или система	Ангара-А5	Ангара-А5М	Понижающий коэффициент
Двигатели первой ступени	4хУРМ-1, РД-191	4хУРМ-1М, РД-191М (дополнительная резервная система подачи топлива)	0,7
Двигатели второй ступени	1хУРМ-1, РД-191	1хУРМ-1М, РД-191М	1
Двигатели третьей ступени	1хУРМ-2, РД-0124А	1хУРМ-2, РД-0124А	0,5
Разгонный блок	Бриз-М (14С48 и КВТК предполагаются к использованию в 2020 и 2024 годах соответственно)	КВТК	1
Головной обтекатель		Без изменений	0,5
Бортовое оборудование		Усовершенствованное, с использованием отечественных разработок, наличие дополнительных дублирующих систем	0,7

Источник: построено автором

Использование понижающих коэффициентов позволяет прогнозировать уровень надежности функционирования ключевых элементов и узлов, уточняя

возможность возникновения отказов. В таблице 17 представлены результаты расчета вероятности аварии ракеты-носителя, проведенного с использованием понижающих коэффициентов.

Таблица 17 Вероятность наступления аварии для смоделированной версии РН с учетом понижающих коэффициентов

Название элемента	Вероятность отказа элемента	Понижающий коэффициент	Вероятность отказа с учетом понижающего коэффициента	Надежность элемента или вероятность штатного выполнения операций	Число элементов в РН
Двигатели первой ступени	0,0118	0,7	0,0083	0,9917	4
Двигатели второй ступени	0,0164	1,0	0,0164	0,9836	1
Двигатели третьей ступени	0,0339	0,5	0,0169	0,9831	2
Бортовое оборудование	0,0395	1,0	0,0395	0,9605	1
Разгонный блок	0,0132	0,5	0,0066	0,9934	1
Головной обтекатель	0,0132	0,7	0,0092	0,9908	1
Кол-во операций отделения	0,0057	0,5	0,0028	0,9972	5
Вероятность аварии (с учетом числа элементов и понижающих коэффициентов)				0,1429	

Источник: построено автором

Полученное значение вероятности аварии составляет 14,29%. Ущерб от потери ракеты-носителя определяется стоимостью реализации аналогичного проекта.

Следует отметить, что данный метод может быть модифицирован исходя из имеющихся статистических данных о результативности запусков новых ракет-носителей и показателей функционирования их отдельных систем, узлов и элементов. Доступ к более детальной информации обусловит возможность

уточнения показателей результативности предстоящего запуска ракеты-носителя нового поколения.

3.5.3. Оценка надежности ключевых элементов и систем транспортных космических модулей нового поколения

В разделе 3.2 отмечено, что основными составными частями космического энергетического модуля нового поколения, характеризующегося мегаваттным уровнем мощности, являются ядерная энергодвигательная установка (ЯЭДУ), отсек несущих ферм в виде раздвигаемых металлических конструкций и приборно- агрегатный блок. В свою очередь, ЯЭДУ объединяет ядерную энергетическую установку (ЯЭУ) и электроракетную двигательную установку (ЭРДУ). Основными составляющими ЯЭУ являются реакторная установка (РУ), система преобразования энергии (СПЭ) и система отвода тепла (СОТ).

Целью настоящего раздела является проведение оценок надежности ключевых элементов и систем энергетического модуля для последующей систематизации, обобщения полученных результатов и обоснования соответствующего показателя модуля в целом.

Наиболее рациональным путем решения задачи обеспечения требуемого показателя надежности является создание системы эффективного управления ее составляющими свойствами: безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью на каждом из этапов жизненного цикла изделия- проектирования, изготовления и эксплуатации¹¹⁰. Сложность количественного анализа надежности ключевых элементов и узлов рассматриваемого модуля обусловлена рядом факторов, среди которых можно выделить:

1. малое количество экземпляров запланированных к производству узлов, их крупномасштабность и большой ресурс функционирования;
2. невозможность проведения натурных испытаний на безотказность и долговечность большинства узлов;

¹¹⁰ Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета.- М.: Энергоатомиздат, 1987

3. недостаточность статистической информации об эксплуатационной надежности;
4. разнотипность оборудования и многообразие факторов, влияющих на его надежность;
5. наличие специфического фактора радиационного воздействия, затрудняющего прогноз его влияние на характеристики надежности;
6. сложность или невозможность в ряде случаев осуществления контроля состояния оборудования, его технического обслуживания и ремонта;
7. многообразие режимов эксплуатации.

Применительно к космическому транспортному энергетическому модулю, создание которого находится на этапе проектирования, управление надежностью, в первую очередь, должно быть рассмотрено для этого этапа. Схема управления надежностью имеет вид, представленный на рисунке 33.

Этап 1 предполагает проведение прогнозного расчета надежности. При его реализации решаются задачи выбора номенклатуры показателей надежности, сбора необходимых для прогнозных оценок исходных данных по надежности ключевых элементов и узлов, а также оценки надежности изделия **при заданных показателях надежности** ключевых элементов. При проведении этапа 2 осуществляется проверка соответствия прогнозируемой оценки надежности предъявляемым требованиям.



Рисунок 33 Схема управления надежностью изделия на этапе проектирования

Источник: Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета.- М.: Энергоатомиздат, 1987

На этапе 3 осуществляется анализ вариантов целенаправленного изменения надежности путем введения различных конструктивных, технологических, теплотехнических и иных изменений с целью рассмотрения возможности повышения целевого показателя надежности и перехода к реализации заключительного этапа 4 - выбора и реализации конкретного варианта проектных мер по обеспечению требуемой надежности.

Схема управления надежностью на этапе проектирования ключевых элементов и систем космического энергетического модуля должна приниматься во внимание при создании всех элементов, перечисленных в начале этого раздела, за исключением электроракетной двигательной установки. Ее специфической особенностью является существенно больший уровень достигнутых проработок и создание к настоящему времени успешно функционирующих линеек электроракетных двигателей различных типов и модификаций. В этой связи применительно к ЭРДУ, согласно работе Клемина А.И., должна использоваться

представленная на рисунке 34 схема управления надежностью изделия на этапе эксплуатации¹¹¹.



Рисунок 34. Схема управления надежностью изделия на этапе эксплуатации

Источник: Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета. С.43

В результате анализа представленной схемы может быть сделан вывод о сохранении структуры основных звеньев управления при наличии изменений их содержания.

В работе «Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета.» систематизируются также основные специфические особенности использования методов количественного анализа для управления надежностью изделий. Основными показателями надежности космического энергетического модуля, а также его ключевых элементов и систем являются единичные показатели безотказности, долговечности, а также в некоторых случаях ремонтпригодности (если речь идет о возможности запланированного

¹¹¹ Там же, С.43

воздействия экипажей пилотируемых космических аппаратов и (или) специальных роботизированных устройств на некоторые элементы конструкции с целью проведения планово-профилактических и ремонтных мероприятий). Показатели надежности являются функциональными и числовыми характеристиками случайных величин, к числу которых относятся наработка изделия на отказ, наработка до предельного состояния, время эксплуатации изделия до предельного состояния (срок службы), время восстановления работоспособности после отказа, число отказов элемента за рассматриваемый промежуток времени и т.д.¹¹².

Надежность изделия $P(t)$ представляет собой вероятность его безотказной работы в течение промежутка времени t . Если известен закон распределения величины наработки изделия на отказ $F(t)$, то

$$P(t) = 1 - F(t) \quad (18)$$

Интенсивностью отказов $\lambda(t)$ называется условная плотность распределения наработки невосстанавливаемого изделия до отказа. Она равна условной вероятности отказа изделия в единичном интервале времени вблизи его момента t при условии, что до этого возникновения отказа не наблюдалось. С учетом этого определения выражение для определения интенсивности отказов имеет вид:

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} \ln P(t) \quad (19)$$

Средняя наработка до отказа представляет собой математическое ожидание или среднее значение случайной величины времени t , характеризующей наработку изделия до первого отказа. С учетом закона надежности (18), выражение для средней наработки до первого отказа может быть представлено в виде

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (20)$$

Когда

¹¹² Там же, С.47

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (21),$$

т.е. в случае реализации экспоненциального закона надежности,

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} \quad (22)$$

В монографии Клемина А.И. показано, что если произвольный закон надежности $P(t)$ с неубывающей и, тем более, возрастающей интенсивностью отказов аппроксимировать экспоненциальным законом с параметром $\lambda = \frac{1}{T_1}$, где T_1 - средняя наработка для указанного закона $P(t)$, то в диапазоне значений $0 \leq t < T_{\Pi}$ всегда справедливо неравенство

$$P(t) > e^{-\frac{t}{T_1}} \quad (23),$$

где $T_{\Pi} > T_1$ - наработка изделия, соответствующая точке пересечения двух законов. Тогда в рассматриваемом диапазоне вероятность безотказной работы изделия, рассчитанная с использованием экспоненциального закона, будет всегда меньше, нежели истинная вероятность $P(t)$. Истинная надежность, рассчитанная с использованием такой аппроксимации, для рассматриваемого изделия будет выше рассчитанной. Учитывая, что практически во всех задачах оценки надежности ключевых элементов и систем космического энергетического модуля интенсивность отказов является неубывающей функцией, изложенный подход к оценке надежности с использованием экспоненциального закона является правомерным. Практически единственным его недостатком является затруднительность в ряде случаев оценки величины превышения значения истинной надежности над рассчитанным.

Таким образом, на стадии проектирования космического энергетического модуля с ядерной энергодвигательной установкой первичные прогнозные оценки надежности его ключевых элементов и систем целесообразно проводить с использованием экспоненциального закона надежности, помня о том, что истинная надежность соответствующих изделий может быть разве что только выше рассчитанной.

Реакторная установка

К показателю надежности реакторной установки космического энергетического модуля предъявляются особые требования. Это обусловлено как потенциальной опасностью радиоактивного загрязнения окружающей среды, сопряженного с облучением биологических объектов в случае реализации негативного сценария развития аварийной ситуации на различных этапах эксплуатации космического аппарата, так и с общим традиционно настороженным отношением людей ко всем техническим устройствам, функционирующим с использованием энергии ядерных превращений. Основным документом, регламентирующим нормы безопасности на всех этапах создания и эксплуатации космических аппаратов с ядерной энергетической установкой являются Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами» (НП-101-17)¹¹³. Положения устанавливают цели и основные критерии безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами, а также основные принципы и общие требования к техническим и организационным мерам, направленным на достижение безопасности. Требования положений распространяются на космические аппараты, в которых ядерные энергетические установки обеспечивают потребителей беспилотных космических аппаратов электрической энергией.

Космический аппарат с ядерной энергетической установкой считается удовлетворяющим требованиям безопасности при одновременном выполнении условий:

1. непревышения допустимых уровней радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду в процессе обычной эксплуатации, а также при реализации проектных аварий, характеризующихся определенными исходными событиями и конечными состояниями, а также предусмотренными системами

¹¹³Общие положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами (НП-101-17). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283142/2ee99c98c93f54276dbaa740fbc647f95d0beed4/ (дата обращения: 07.08.2019)

безопасности, обеспечивающими ограничение последствий установленными пределами;

2. ограничения уровней такого воздействия в случае возникновения запроектных аварий;
3. ограничения значения вероятности наступления аварий.

К основным принципам обеспечения безопасности аппаратов с ядерными энергетическими установками относятся:

1. обеспечение невозможности инициирования неконтролируемой цепной реакции деления ядер нейтронами во всех возможных состояниях ракетно-космического комплекса, включая его взрыв и разрушение при падении на Землю;
2. безусловное удержание радиоактивных веществ в любой момент времени в заданных объемах;
3. безусловное обеспечение теплоотвода от реактора во всех его состояниях, регламентированных проектной документацией.

Стратегия обеспечения безопасности космического аппарата с ядерной энергетической установкой базируется на принципах реализации глубокоэшелонированной защиты с использованием физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также защиты персонала, населения и окружающей среды. Такая защита должна обеспечивать:

1. предотвращение нарушений нормальной эксплуатации космического аппарата;
2. предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации и безопасности;
3. управление запроектными авариями: предотвращение их развития и ослабление последствий;
4. противоаварийное планирование: подготовка и реализация мероприятий по защите биологических объектов.

Система преобразования и распределения энергии

Система преобразования и распределения энергии предназначена для преобразования тепловой энергии, отводимой от реакторной установки, в электрическую и ее распределения между основными потребителями космического энергетического модуля. В состав системы входят высокотемпературные турбины, высокооборотные электрогенераторы, статические преобразователи большой мощности и системы преобразования и распределения электроэнергии.

Система преобразования энергии функционирует по замкнутому газотурбинному циклу. Требуемые параметры по выработке электрической мощности при имеющихся ограничениях массы и габаритов систем и агрегатов достигаются при температуре рабочего тела перед турбиной $\sim 1500\text{K}$ (1227°C) и КПД турбины не менее $85\%^{114}$. Обеспечение требуемых показателей надежности таких турбин в условиях длительных ресурсов является очень непростой инновационной задачей, требующей разработки специальных жаропрочных сплавов, газодинамических подшипников, а также проведения высокоточного математического моделирования физических закономерностей рабочих процессов в турбине.

Электрический генератор – изделие из состава системы преобразования энергии, в котором механическая энергия ротора, приводящегося во вращение высокотемпературной турбиной, преобразуется в электричество для питания потребителей (прежде всего, электроракетных двигателей). Электрогенератор космического энергетического модуля проектируется на выходную электрическую мощность 260 кВт при частоте вращения ротора 60000 об/мин и напряжении 2000 В. Наиболее полно условиям обеспечения высоких показателей надежности на этапе проектирования отвечает электрогенератор с возбуждением постоянными магнитами на основе редкоземельных металлов, расположенных на

¹¹⁴ Проект ТЭМ: ядерный реактор и электроракетный двигатель для космоса [Электронный ресурс] // www.topwar.ru [сайт]. [2019]. URL: <https://topwar.ru/161272-proekt-tjem-jadernyj-reaktor-i-jelektoraketnyj-dvigatel-dlja-kosmosa.html> (дата обращения: 09.10.2019)

роторе. В качестве опор ротора могут использоваться активные магнитные и газодинамические подшипники¹¹⁵.

Система преобразования и распределения электроэнергии по электрической мощности, сложности построения, требованиям стойкости к внешним воздействующим факторам и надежности не имеет мировых аналогов. Система проектируется по блочно-модульному принципу и объединяет четыре модуля электрооборудования, функционирующего при напряжениях от 100 до 4500 В. Основными задачами, требующими решения для обеспечения высоких показателей надежности, являются:

1. создание инновационных блоков выпрямителя на напряжение 4500 В для преобразования переменного напряжения от электрогенератора в постоянный ток для силового питания маршевых электроракетных двигателей, двигателей ориентации и других внешних потребителей из модуля полезной нагрузки;
2. разработка блоков вторичного электропитания на напряжение 100 и 110 В постоянного тока для питания элементов электроракетной двигательной установки и аппаратуры приема электроэнергии;
3. создание не имеющей мировых аналогов системы балластной нагрузки для утилизации избыточной электроэнергии в режимах запуска и выключения электроракетных двигателей с использованием унифицированной конструкции элементов и их дублирования для повышения надежности функционирования.

Система отвода тепла

Система отвода тепла является одной из важнейших составляющих космических ядерных энергетических установок. Ее назначением является отвод неиспользованного в термодинамическом цикле (низкопотенциального) тепла. Эффективность такого теплоотвода существенно влияет на коэффициент полезного действия ЯЭУ, а специфической особенностью теплоотвода в космосе является возможность использования для этого единственного механизма передачи тепла-излучения. Согласно закону Стефана-Больцмана величина

¹¹⁵ Там же

теплового потока, отводимого в космосе, пропорциональна четвертой степени температуры излучающей поверхности, ее площади и интегральному коэффициенту излучения. Для ядерных космических энергетических установок мегаваттного уровня мощности с учетом их коэффициента полезного действия, составляющего приблизительно 30%, требуемое значение величины теплоотвода составляет до 2,3 МВт. Космические излучатели традиционных схем, выполненные в виде раскладываемых панелей с перемычками между трубками, по которым протекает теплоноситель, при таких значениях тепловой мощности характеризуются недопустимыми массо- габаритными характеристиками. Помимо этого из-за заведомо больших размеров излучателей резко снижается их показатель надежности вследствие значительного увеличения вероятности повреждения панелей большой площади космическими микрометеоритными частицами естественного и техногенного происхождения.

Выходом из ситуации, характеризующейся наличием принципиально непреодолимого ограничения мощности космических энергетических установок в случае использования классических систем отвода тепла, является применение принципиально новых бескаркасных систем теплоотвода (капельных холодильников- излучателей). Их концепция характеризуется полным отказом от использования каких-либо излучающих панелей с предоставлением жидкому теплоносителю возможности свободного распространения в космосе между в виде мелкодисперсного капельного потока между генератором и уловителем капель (рисунок 35)¹¹⁶.

¹¹⁶ Коротеев А.А. Капельные холодильники-излучатели космических энергетических установок нового поколения. – М.: Машиностроение, 2008.

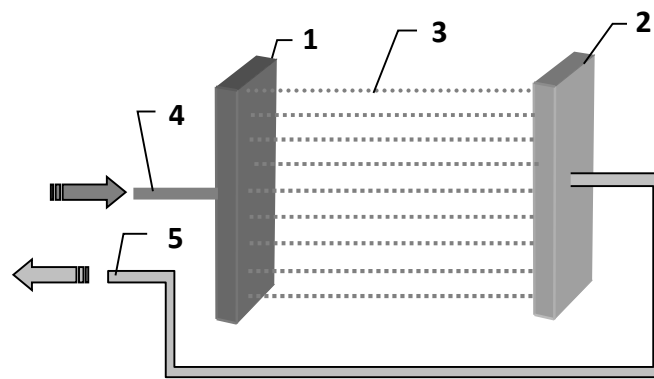


Рисунок 35 Схема капельного холодильника-излучателя (1 – генератор капельного потока; 2 – уловитель; 3 – пелена мелкодисперсных капель; 4,5 – трубопроводы)

Источник: построено автором

Отвод тепла в космос осуществляется за счет радиационного охлаждения капель, движущихся по заданной траектории. Даже не обладающему специальным инженерно-техническим образованием человеку нетрудно понять, сколь значительный выигрыш в массе обеспечивает реализация этой концепции. К большой экономии массы добавляется практически полная метеоритная неуязвимость новой конструкции, т.к. пронизывающие капельную пелену метеоритные частицы не способны вызвать какие-либо повреждения. Таким образом обеспечивается существенное повышение надежности перспективных космических излучательных систем над традиционными.

Российская Федерация является безусловным мировым лидером в области создания бескаркасных космических излучательных систем и единственной в мире страной, осуществившей два космических эксперимента, направленных на их отработку¹¹⁷. Уровень и глубина выполненных к настоящему времени проработок позволяют охарактеризовать основные задачи, стоящие на пути практического создания подобных систем теплоотвода в космосе:

1. синтез оптимального теплоносителя, пригодного для работы в открытом космосе в заданном диапазоне изменения температур;

¹¹⁷ Конюхов Г.В., Коротеев А.А., Полуэктов В.П. Исследование рабочего процесса в капельном холодильнике-излучателе в условиях микрогравитации и глубокого вакуума. Общероссийский научно-технический журнал «Полет», 2001, № 4, с. 26- 32. ;А.А. Коротеев, Ю.А. Нагель, Н.И. Филатов. Экспериментальная отработка моделей капельных холодильников-излучателей в условиях микрогравитации и глубокого вакуума // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2015, № 5 , с. 81-89.

2. обеспечение требуемых закономерностей диспергирования теплоносителя;
3. соблюдение заданных траекторий движения капель на участке свободного полета;
4. использование оптимальной геометрии и структуры пелены;
5. организация эффективного сбора остывших капель в условиях микрогравитации и глубокого вакуума.

Электроракетная двигательная установка

Для космического энергетического модуля разрабатываются ионные электроракетные двигатели (ИД) двух типоразмеров- маршевый двигатель ИД-500 мощностью 35 кВт и двигатель коррекции ИД-200 мощностью 5 кВт. Принципиальным отличием разрабатываемых двигателей от других ключевых элементов и систем модуля является наличие функционирующих, отработанных и прошедших доводочные испытания прототипов. Поэтому создаваемые двигатели унаследовали основные проектные и конструкторские решения с рядом доработок, целесообразность проведения которых определялась результатами доводочных испытаний. Двигатель ИД-500 является многорежимным, работающим в диапазоне от 50 до 100% максимальной мощности. Он является наиболее мощным ионным двигателем в мире. Двигатель ИД-200-однорежимный. К настоящему времени завершены автономные, доводочные и предварительные испытания двигателей. Запланированная длительность ресурсных испытаний составляет 5000 часов.

Оценивая показатель надежности функционирования космического энергетического модуля с мегаваттным уровнем мощности на этапе проектирования, целесообразно выделить его ключевые элементы и системы, показатель надежности которых вносит наибольший вклад в определяемую величину надежности модуля в целом. Соответствующая задача характеризуется в работе Клемина А.И. «Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета» как задача номенклатуры показателей, т.е. задача выбора наиболее полной, представительной и чувствительной номенклатуры показателей

надежности элементов изделия с учетом режимов использования, контроля исправности, обслуживания, создания соответствующей нормативно-технической документации и т.д.¹¹⁸ При этом для оценки надежности большинства элементов разрабатываемой инновационной установки, как правило, может использоваться только метод оценки надежности экспертным путем. Этот метод применяется в случае полного или практически полного отсутствия статистических данных об испытаниях или эксплуатации элемента.

Подготовка к запуску космического энергетического модуля с ядерной энергодвигательной установкой, характеризующейся столь высокой мощностью, вне всякого сомнения, будет иметь значительный международный резонанс. Потребуется выполнение большого объема кропотливой работы, направленной на изменение укоренившегося в умонастроении многих людей стойкого неприятия возможности использования каких-либо космических аппаратов с ядерными источниками энергии. В этой связи показатель надежности $P_{ру}$ проектируемой реакторной установки на всех этапах подготовки и выполнения полета, а также при реализации сценариев проектных и запроектных аварий должен иметь очень высокое, тщательно обоснованное и понятное широкому кругу специалистов значение не ниже 0,999 в течение анонсированного ресурса эксплуатации, равного 10 годам. Указанный период времени в первом приближении может быть принят соответствующим величине средней наработки на отказ ключевых элементов и систем энергетического модуля. Наличие меньшего запаса надежности реакторной установки, равно как и его недостаточно строгое и доступное для понимания общественности обоснование, по всей вероятности крайне осложнит проведение процедур страхования столь резонансного запуска или приведет к неподъемным значениям стоимости страхования.

Оценка показателей надежности систем преобразования энергии $P_{СПЭ}$ и отвода тепла $P_{СОТ}$ на этапе проектирования изделия, по-видимому, должна осуществляться с использованием несколько иных подходов. Важным при этом

¹¹⁸ Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета. С.42

является понимание того, что анализируемые возможные отказы не являются "ядерными", т.е. их наступление может привести к отклонениям от номинальных режимов эксплуатации ядерной энергодвигательной установки вплоть до уменьшения значения вырабатываемой мощности до нуля (т.е. фактическому прекращению функционирования энергетического модуля), однако не влечет за собой наступление каких-либо последствий, сопровождаемых неконтролируемым выходом радиации за пределы активной зоны реактора. В качестве примеров таких отказов можно привести нарушение нормальной работы газодинамических подшипников ротора электрогенератора, появление статистических отклонений траекторий распространения отдельных струек теплоносителя бескаркасного излучателя тепла и выход этих струек за пределы зоны улавливания, приводящий к постепенной медленной потере теплоносителя, а также значительное количество иных потенциально возможных отказов.

Значения надежности рассматриваемых систем могут оцениваться соотношениями вида¹¹⁹:

$$P_{\text{спэ}} = \frac{1}{e^{\frac{1}{T_{\text{спэ}}}}} \quad (24)$$

и

$$P_{\text{сот}} = \frac{1}{e^{\frac{1}{T_{\text{сот}}}}} \quad (25),$$

где $T_{\text{спэ}}$ и $T_{\text{сот}}$ - соответственно значения средних наработок до отказов соответствующих систем.

При использовании выражений вида (24) и (25) необходимо помнить о том, что истинная надежность систем может быть разве что только выше рассчитанной¹²⁰, причем для некоторых законов распределения отказов это превышение может быть очень существенным.

Анализ показателей надежности электроракетной двигательной установки должен проводиться с учетом двух определяющих факторов: существенно

¹¹⁹ Там же, С. 47 - 99

¹²⁰ Там же, С. 47-99

большой степенью проработки конструкции по сравнению с другими ключевыми элементами и системами энергетического модуля, а также наличием весомого резервирования. Последний показатель обусловлен использованием в конструкции энергетического модуля 24-ех маршевых двигателей и 8-ми двигателей ориентации. Такое количество однотипных и достаточно хорошо отработанных элементов, отказ одного или нескольких из которых не является определяющим в части невыполнения программы космического полета, на стадии проектирования позволяет считать достаточно обоснованным предположение о существенно большей надежности электроракетной двигательной установки по сравнению с системами преобразования и распределения энергии, а также отвода тепла.

Наконец, анализируя на этапе проектирования показатели надежности таких элементов энергетического модуля, как отсек несущих ферм и приборно-агрегатный блок, можно также с достаточной степенью обоснованности считать их существенно более высокими, нежели у систем преобразования энергии и отвода тепла. Применительно к отсеку несущих ферм соответствующие соображения опираются на наличие большого количества методов расчета и проектирования крупногабаритных несущих конструкций, характеризующихся высокой точностью и подтвержденной достоверностью получаемых с их помощью результатов, крайне малым (практически единичным) количеством операций трансформации таких конструкций при развертывании энергомодуля из транспортного положения в эксплуатационное, а также хорошей изученностью и предсказуемостью свойств используемых для изготовления несущих ферм конструкционных материалов. Высокие ожидаемые показатели надежности приборно-агрегатного блока обусловлены наличием потенциальной возможности учета на этапе его проектирования необходимости резервирования элементов, обеспечение безотказности функционирования которых должно реализовываться в первую очередь исходя из условий их эксплуатации.

Таким образом, ключевыми системами, показатель надежности которых на этапе проектирования оказывает наибольшее влияние на безотказность

функционирования космического энергетического модуля с мегаваттным уровнем мощности, являются системы преобразования и распределения электроэнергии, а также отвода тепла. Для получения количественных приближенных оценок надежности $P_{эм}$ модуля в целом, можно осуществить перемножение соответствующих показателей его ключевых элементов и систем. При этом необходимо учитывать дальнейшее заметное занижение исследуемого показателя по сравнению с его истинным значением из-за игнорирования учета условной вероятности наступления тех или иных событий, сопряженных с возникновением различных отказов. Вместе с тем, осуществление соответствующих оценок для установления приемлемых условий страхования инновационного космического запуска выглядит достаточно обоснованно, т.к. такое страхование сопряжено со значительными рисками и должно осуществляться с учетом наличия "запаса" значения принимаемого во внимание показателя надежности.

С учетом изложенного выражение для оценки обобщенного показателя надежности энергетического модуля имеет вид

$$P_{эм} = P_{спэ} P_{сот} = \frac{1}{e^{\frac{T_{спэ} + T_{сот}}{T_{спэ} T_{сот}} t}} \quad (26).$$

В частном случае равенства анонсированных значений средних наработок до отказа каждой из анализируемых систем, т.е. когда $T_{спэ} = T_{сот} = T$,

$$P_{эм} = \frac{1}{e^{\frac{2t}{T}}} \quad (27).$$

На рисунке 36 представлены графики зависимости показателей надежности систем преобразования энергии и отвода тепла (верхняя кривая) для случая равенства значений их средних наработок до отказа 10 годам¹²¹, а также суммарного оценочного значения надежности энергетического модуля (нижняя кривая), рассчитанного для отказов, не приводящих к ядерным авариям.

¹²¹ Проект ТЭМ: ядерный реактор и электроракетный двигатель для космоса URL: <https://topwar.ru/161272-proekt-tjem-jadernyj-reaktor-i-elektoraketnyj-dvigatel-dlja-kosmosa.html> (дата обращения: 09.10.2019)

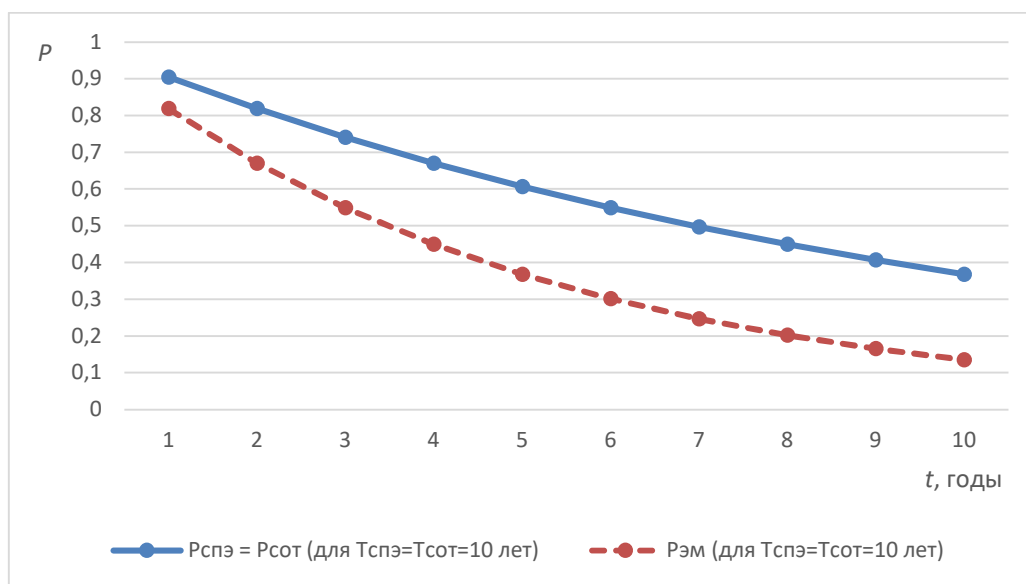


Рисунок 36 Зависимости показателей надежности систем преобразования энергии и отвода тепла (верхняя кривая) при равенстве значений их средних наработок до отказа 10 годам, а также суммарного оценочного значения надежности энергетического модуля (нижняя кривая), рассчитанного для отказов, не приводящих к ядерным авариям

Источник: построено автором

Перед проведением анализа представленных результатов уместно еще раз сакцентировать положение о том, что соответствующие расчеты проведены применительно к возможности реализации отказов, не приводящих к аварийным ситуациям, связанным с неплановым и неконтролируемым выбросом радиоактивных веществ за пределы объема активной зоны реакторной установки, показатель надежности которой несопоставимо выше и практически не отличается от единицы в течение всего анализируемого десятилетнего периода времени.

Вместе с тем, даже с учетом обоснованной выше возможности существенного превышения истинных показателей надежности модуля, рассчитанного для "неядерных" отказов, над представленными на рисунке 36 значениями, анализ кривых позволяет сделать вывод о целесообразности

ограничения сроков реализации программы первого запуска энергетического модуля одним годом. Временной диапазон функционирования модуля на расчетной орбите может быть расширен в случае подтверждения его практически безотказной работы в течение обозначенного времени, однако проведение первичных страховых действий в отношении объекта, эксплуатация которого рассчитана на более длительный срок, выглядит рискованным.

Заключение

Цель диссертационного исследования заключалась в разработке модели оценки принимаемых на страхование рисков запуска ракет-носителей и космических аппаратов, в том числе нового поколения. Для достижения цели рассмотрены различные аспекты организации страховой деятельности, выявлены основные тенденции развития международного рынка страхования космических рисков, а также специфика его отечественного сегмента. Выполнен анализ развития ракетно-космической отрасли в СССР и РФ. Собраны и систематизированы данные, характеризующие результативность общемировых запусков с 1957 по 2018 годы. Рассчитаны показатели аварийности, характеризующие космическую деятельность ведущих космических держав. Рассмотрены различные подходы к классификации рисков ракетно-космической деятельности; обоснована необходимость ее совершенствования с учетом стратегии развития ракетно-космической отрасли РФ. Предложены модели оценки максимально возможного ущерба, причиняемого жизни, здоровью и имуществу третьих лиц в случае аварии космического аппарата на этапе запуска; риска причинения вреда имуществу в случае гибели РН нового поколения, а также методика оценки надежности ключевых элементов и систем новых транспортных космических модулей.

Основные результаты проведенного исследования могут быть сведены к следующему.

- 1) Выявлена зависимость результативности запусков космических летательных аппаратов от общей экономической ситуации в стране. Результаты выполненного анализа показателей аварийности ракетно-космической отрасли РФ, свидетельствуют о том, что на начальной стадии развития ракетно-космической отрасли высокий процент запусков с неблагоприятным исходом объясняется несовершенством применяемых конструкторских и технологических решений. По мере развития научно-технического прогресса в СССР заметно увеличилось число осуществляемых космических проектов при одновременном значительном сокращении аварийности. Дальнейшие незначительные изменения

этого показателя соответствуют периодам ввода в эксплуатацию новых космических летательных аппаратов. Начиная с 1990 года, количество реализуемых проектов стало значительно сокращаться, а проводимые реформы и перестройка структуры государственного управления сказались на уровне финансирования ракетно-космической промышленности. С 1993 года увеличилась доля аварий, связанных с запуском и эксплуатацией космической техники. Рост аварийности обуславливался последствиями пересмотра экономической политики в стране, сокращением государственного заказа, уменьшением инвестиционных потоков и закрытием ряда предприятий. К 2009 году ситуация несколько улучшилась. Причиной повторного увеличения доли аварийных запусков в последние годы явился отложенный эффект, инициированный проблемами отрасли конца 1990-х – начала 2000-х годов и выразившейся в нарастающем дефиците специалистов высокой квалификации из-за значительного перетекания людских ресурсов в коммерческие структуры.

2) Обоснована необходимость пересмотра существующих подходов к оценке рисков космической деятельности в Российской Федерации. В течение последних лет на мировом рынке страхования космических рисков наблюдается устойчивая тенденция к сокращению тарифных ставок на страховые продукты. Изменение ставок страхования рисков запуска за период с 2003 по 2018 годы составило приблизительно 15%. Среднее значение величины ставок по страхованию рисков орбитальной эксплуатации уменьшилось на 2,25%. Причинами сокращения стали избыточное предложение страховой и перестраховочных емкостей, а также стремление страховых компаний увеличить свою долю на соответствующем рынке. Сокращение страховых сборов совместно со значительными убытками 2015 и 2018 годов способствовали пересмотру политики андеррайтинга страховыми компаниями.

Российский страховой сегмент характеризуется высоким уровнем концентрации, что объясняется значительными страховыми суммами, наличием бюрократических сложностей заключения и ведения страхового договора, а также

ограниченным доступом к перестраховочным емкостям ввиду экономических санкций. До осени 2018 года российский страховой рынок также характеризовался умеренной лояльностью при проведении политики тарифообразования. Потеря космического аппарата «Союз МС-10», произошедшая в октябре 2018 года, прервала многолетнюю серию успешных пилотируемых космических запусков и нанесла серьезный репутационный удар по российской ракетно-космической промышленности. На основе данных портала государственных закупок тариф по страхованию рисков запуска КА «Союз МС-10» составил 3,08%, что значительно ниже как среднемирового уровня тарифных ставок, так и ставок страхования запусков РН семейства «Союз», действовавших ранее. Уровню тарифных ставок в 3% соответствует показатель аварийности не хуже 0,0333. На сегодняшний день он значительно выше. Помимо выплаты страхового возмещения в связи с аварией КА «Союз МС-10» на стадии урегулирования находился убыток в 7,5 млрд руб. от потери спутника «Ангосат». Кроме того, в 2018 году была осуществлена выплата в 2,5 млрд руб. в связи с гибелью гидрометеорологического КА «Метеор-М». Общая премия по трем договорам страхования составила 1 млрд рублей. Значение средней ставки по страхованию трех запусков составило 6,8%.

3) Предложена классификация основных причин возможной гибели КА на стадиях запуска и орбитальной эксплуатации. В ее основу положены результаты обобщения и систематизации причин крупнейших аварий отечественной космонавтики с 2006 по 2018 годы. Предложены три категории: воздействие непреодолимой силы, недостаточность кадрового резерва и системные сбои организации производственного процесса. Две последние категории включают ранее рассматриваемые причины аварий – такие, как человеческий фактор и производственный дефект.

4) Развитие ракетно-космической промышленности и применение новых технологий обуславливают необходимость постоянного совершенствования системы внутреннего риск-менеджмента в отрасли и пересмотра классификации рисков, характерных для осуществления космических проектов. Разработка не

имеющего мировых аналогов проекта космического аппарата с ядерной энергодвигательной установкой определяет появление новой (для ракетно-космической отрасли), сложной в управлении категории ядерных рисков. В этой связи предложена классификация рисков космического проекта, характерных для каждого из этапов его осуществления с учетом ядерного риска.

5) Разработана модель, позволяющая на основе некоторых телеметрических данных полета ракеты-носителя, смоделировать максимальную зону возможного поражения в случае потери РН с КА, а также оценить максимальную вероятность наступления риска ответственности ввиду причинения ущерба жизни, здоровью и имуществу третьих лиц в условиях аварийных запусков. Данная модель будет способствовать развитию страховых систем в части подхода к оценке риска наступления ответственности перед третьими лицами при осуществлении космических проектов, в том числе с применением новых космических летательных аппаратов с ЯЭДУ.

6) На основе проведенных расчетов вероятности попадания фрагментов ракет-носителей в объекты инфраструктуры в случае аварийных запусков сформулирована рекомендация о целесообразности выбора космодрома Восточный для реализации первого запуска не имеющего мировых аналогов космического аппарата с ядерной энергодвигательной установкой мегаваттного уровня мощности.

7) На основе исторических данных, характеризующих результативность первых трех запусков основных типов новых отечественных ракет-носителей, разработанных в период с 1960 по 2019 годы, а также причин их аварий произведен расчет вероятности наступления риска, связанного с потерей ракеты-носителя нового поколения с космическим аппаратом. Предложена к использованию система понижающих коэффициентов при оценивании надежности отдельных ранее функционирующих, отработанных и прошедших доводочные испытания элементов ракеты-носителя нового поколения. Применение коэффициентов позволит получить более точную количественную оценку риска гибели новой ракеты-носителя с космическим аппаратом.

8) Выявлены закономерности, характеризующие показатели надежности модуля применительно к возможности реализации отказов, не приводящих к аварийным ситуациям, связанным с неплановым и неконтролируемым выбросом радиоактивных веществ за пределы объема активной зоны реакторной установки. Подход к оцениванию прогнозной надежности принципиально нового космического аппарата с ядерной энергетической установкой основывается на оценке заявленной номенклатуры показателей надежности ключевых элементов и узлов. Ключевыми системами, показатель безотказной работы которых на этапе проектирования оказывает наибольшее влияние на надежность КА с ЯЭДУ, являются системы преобразования и распределения электроэнергии, а также отвода тепла. На этапе проектирования космического энергетического модуля с мегаваттным уровнем мощности первичные прогнозные оценки надежности его ключевых элементов и систем целесообразно проводить с использованием экспоненциального закона надежности. При этом значение истинного показателя безотказной работы соответствующих изделий будет разве что только выше рассчитанной.

9) Сформулированы рекомендации, направленные на установление оптимальной длительности программы первого полета космического аппарата с ядерной энергодвигательной установкой, с точки зрения обеспечения взаимоприемлемых условий его страхования для страховщика и страхователя. Оценочные расчеты надежности ключевых систем КА с ЯЭДУ позволяют сделать вывод о необходимости ограничения длительности первого полета одним годом. В случае успешного выполнения рабочей программы и штатного функционирования аппарата период дальнейшей орбитальной эксплуатации может быть увеличен, однако осуществление страхования подобного космического объекта на более длительный срок, выглядит рискованным.

Список литературы:

1. Коротеева А.А. Основы тарификации при страховании при страховании запусков космических аппаратов с ядерной энергодвигательной установкой // Страховое дело. 2018. №4 С. 30-35
2. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 28.09.2018) <О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года> (вместе с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года») [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/
3. Медведчиков Д.А. Перестрахование и взаимоотношения в космическом страховании [Электронный ресурс] // www.space-ins.ru [сайт]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/2009-12-19-16-12-55/21-relations.html> (дата обращения 23.03.2019)
4. Медведчиков Д.А. Рынок страхования космических рисков [история, динамика развития, виды страхования, краткосрочные перспективы] [Электронный ресурс] // www.info-insur.ru [сайт]. URL: <http://www.insur-info.ru/analysis/263/> (дата обращения 23.03.2019)
5. Страхование космических рисков. История создания страхового рынка в России [Электронный ресурс] // www.ins-capital.ru [сайт]. URL: http://ins-capital.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=46:2011-11-29-16-37-34&catid=5:2011-11-29-16-20-12&Itemid=6 (дата обращения 23.03.2019)
6. Коротеева А.А. Динамика аварийности и страхование запусков космических аппаратов в РФ // Страховое дело 2018. №6. С. 18-25
7. Запуски 1950-1959 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/1950/> (дата обращения 20.03.2019)
8. Запуски 1960-1969 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016]. URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/1960/> (дата обращения 20.03.2019)

9. Запуски 1970-1979 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/1970/> (дата обращения 20.03.2019)
10. Запуски 1980-1989 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/1980/> (дата обращения 20.03.2019)
11. Запуски 1990-1999 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/1990/> (дата обращения 20.03.2019)
12. Запуски 2000-2009 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2009].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2000/> (дата обращения 20.03.2019)
13. Запуски 2010 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2010].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2010/> (дата обращения 20.03.2019)
14. Запуски 2011 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2011].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2011/> (дата обращения 20.03.2019)
15. Запуски 2012 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2012].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2012/> (дата обращения 20.03.2019)
16. Запуски 2013 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2013].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2013/> (дата обращения 20.03.2019)
17. Запуски 2014 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2014].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2014/> (дата обращения 20.03.2019)
18. Запуски 2015 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2015].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2015/> (дата обращения 20.03.2019)
19. Запуски 2016 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2016/> (дата обращения 20.03.2019)
20. Запуски 2017 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2017].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2017/> (дата обращения 20.03.2019)
21. Запуски 2018 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2018].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2018/> (дата обращения 20.03.2019)
22. Запуски 2019 [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2019].
URL: <https://www.roscosmos.ru/launch/2019/> (дата обращения 20.04.2020)

23. Ежегодник большой советской энциклопедии 1958 г. под ред. Арзуманян А.А., Бардин И.П. и др. Большая научная энциклопедия, 1958, С. 423- 424
24. Ежегодник большой советской энциклопедии 1960 г. под ред. Арзуманян А.А., Введенский Б.А. и др. Советская энциклопедия, 1960, С. 455- 459
25. Ежегодник большой советской энциклопедии 1963 г. под ред. Арзуманян А.А., Введенский Б.А. и др. Советская энциклопедия, 1963, С. 477- 484
26. Ежегодник большой советской энциклопедии 1964 г. под ред. Арзуманян А.А., Введенский Б.А. и др. Советская энциклопедия, 1964, С. 497- 503
27. Ежегодник большой советской энциклопедии 1967 г. под ред. Введенский Б.А., Зорин В.А. и др. Советская энциклопедия, 1967, С. 497- 517
28. Ежегодник большой советской энциклопедии 1970 г. под ред. Замятин Л.М., Зорин В.А. и др. Советская энциклопедия, 1970, С. 492- 511
29. Ежегодник большой советской энциклопедии 1971 г. под ред. Замятин Л.М., Зорин В.А. и др. Советская энциклопедия, 1971, С. 492- 510
30. Ежегодник большой советской энциклопедии 1973 г. под ред. Ковалев С.М., Игнатьев А.Н. и др. Советская энциклопедия, 1973, С. 522- 541
31. Ежегодник большой советской энциклопедии 1974 г. под ред. Ковалев С.М., Игнатьев А.Н. и др. Советская энциклопедия, 1974, С. 517- 537
32. Ежегодник большой советской энциклопедии 1977 г. под ред. Ковалев С.М., Володарский Л.М. и др. Советская энциклопедия, 1977, С. 493- 509
33. Ежегодник большой советской энциклопедии 1978 г. под ред. Ковалев С.М., Володарский Л.М. и др. Советская энциклопедия, 1978, С. 485- 507
34. Ежегодник большой советской энциклопедии 1980 г. под ред. Панов В.Г., Володарский Л.М. и др. Советская энциклопедия, 1980, С. 466- 482
35. Ежегодник большой советской энциклопедии 1982 г. под ред. Загладин В.В., Володарский Л.М. и др. Советская энциклопедия, 1982, С. 475- 488
36. Ежегодник большой советской энциклопедии 1985 г. под ред. Панов В.Г., Володарский Л.М. и др. Советская энциклопедия, 1985, С. 454- 470
37. Ежегодник большой советской энциклопедии 1987 г. под ред. Панов В.Г., Воронцов Ю.М. и др. Советская энциклопедия, 1987, С. 454- 466

38. Ежегодник большой советской энциклопедии 1989 г. под ред. Панов В.Г., Волков В.О. и др. Советская энциклопедия, 1989, С. 483- 494
39. Коротеева А.А. Аварийный запуск космического корабля "Союз МС-10" как фактор влияния на пересмотр ценовой политики при страховании космических рисков// Страховое дело 2019. № 6, С.19-26
40. Фузик Т.В. Рынок космического страхования 2019 [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2019]. URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/Рынок-космического-страхования-2019.pdf> (дата обращения 01.03.2020)
41. Raaks 2019 State of the space insurance market [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2019]. URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/02/State-of-the-Space-Insurance-Market.pdf> (дата обращения 02.04.2019)
42. Обзор рынка страхования космической деятельности [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2018]. URL: http://old.raaks.ru/docs/doc20181010_001.pdf (дата обращения 02.03.2019)
43. Текущее состояние международного рынка страхования космических рисков [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2018]. URL: http://raaks.ru/docs/doc20180227_016.pdf(дата обращения 02.03.2019)
44. На долю России в 2018 году пришлось 30% убытков мирового рынка космического страхования [Электронный ресурс] // www.insur-info.ru [сайт]. [2019]. URL: <http://www.insur-info.ru/aerospace-insurance/press/143360/>(дата обращения 03.03.2019)
45. The countries with the most satellites in space // www.statista.com [сайт]. URL: <https://www.statista.com/chart/17107/countries-with-the-most-satellites-in-space/> (дата обращения 03.01.2019)
46. Авиация и космос: ключевые тренды в страховании // <http://www.insur-info.ru> [сайт]. [2017] URL: <http://www.insur-info.ru/interviews/1167/> (дата обращения 24.03.2019)

47. Страховой рынок в России в 2016 году // <http://www.ra-national.ru> [сайт].
[2017] URL: http://www.ra-national.ru/sites/default/files/analitic_article/Аналитический%20обзор-%20страховой%20рынок%20-2016.pdf (дата обращения 24.03.2019)
48. Обзор страхования космических рисков [Электронный ресурс] // www.raaks.ru: [сайт]. [2019]. URL: <http://raaks.ru/wp-content/uploads/2019/09/ОБЗОР-СТРАХОВАНИЯ-КОСМИЧЕСКИХ-РИСКОВ-2019.pdf>) (дата обращения 20.03.2020)
49. Григорьева Е. «Неземные риски» - Тематическое приложение к ежедневной деловой газете РБК, 12 апреля, 2017, №064 (2561)
50. «Согласие» назвало рекордной потенциальную выплату по страховке за «Союз» [Электронный ресурс] // www.rbc.ru [сайт]. [2018]. URL: <https://www.rbc.ru/society/11/10/2018/5bbf4d959a79470254335e91> (дата обращения 24.03.2019)
51. Страховщики заплатят «Роскосмосу» за последние три аварии 15 млрд рублей [Электронный ресурс] // www.rbc.ru [сайт]. [2018]. URL: https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5bc9a8339a79475d2209cc3a?from=materials_on_subject (дата обращения 24.03.2019)
52. Рисковые поля: почему цена страховки для «Роскосмоса вырастет» [Электронный ресурс] // www.banki.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.banki.ru/news/bankpress/?id=10727636> (дата обращения 24.03.2019)
53. Китай готов перестраховать российские космические пуски в 2019 г на \$10 млн [Электронный ресурс] // www.insur-info.ru [сайт]. [2019]. URL: <http://www.insur-info.ru/press/143388/> (дата обращения 06.04.2019)
54. РНПК откажется от перестрахования российских космических запусков в 2019 году [Электронный ресурс] // www.finmarket.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.finmarket.ru/insurance/?nt=0&id=4910216> (дата обращения 06.04.2019)
55. Структура портфеля убытков АО РНПК по состоянию на 31.12.2018 [Электронный ресурс] // www.rnrc.ru [сайт]. [2019]. URL:

<https://rnrc.ru/upload/doc-ru/analytics/rnrc-analytics/portfolio-of-losses-2018.pdf>(дата обращения 06.04.2019)

56. Общие сведения о закупке №31807107025 [Электронный ресурс] // www.zakupki.gov.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-info.html?regNumber=31807107025>(дата обращения 15.04.2019)
57. Общие сведения о закупке №31807102454 [Электронный ресурс] // www.zakupki.gov.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-info.html?regNumber=31807102454>(дата обращения 15.04.2019)
58. ESA convention and council rules of procedures // [Электронный ресурс]. // <https://www.esa.int> [сайт]. URL: https://esamultimedia.esa.int/docs/LEX-L/ESA-Convention/SP-1317_EN.pdf (дата обращения 18.05.2019)
59. National and commercial space programs // [Электронный ресурс]. / www.nasa.gov [сайт]. URL: https://www.nasa.gov/offices/ogc/about/space_act1.html (дата обращения 18.05.2019)
60. Закон РФ «О космической деятельности» от 20.08.1993 № 5663-1 // [Электронный ресурс]. // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3219/a10ee843c99cf48ced68275b23f8fd19ee0d870f/ (дата обращения: 19.05.2019)
61. "ГОСТ Р 54869-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.12.2011 N 1582-ст) [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=16204#035662002008702953> (дата обращения 18.05.2019)
62. Волков В.А., Баяев Г.О., Орлов А.И., Фалько С.Г. «Требования и оценка реализуемости проектов создания изделий ракетно-космической техники» //

- Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2014, С. 939-958
63. Серикова Е.Н. Ястребова В.А. Космические проекты: понятие, классификация и особенности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017, Т.3, С. 126- 128
64. Медведчиков Д.А. Космический проект, его участники, космические риски и ущербы [Электронный ресурс]. // www.space-ins.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/kategoria2/19-spaceproject.html> (дата обращения 18.05.2019)
65. Новиков Д.А., Нижегородцев Р.М., Гонтарева И.В. Управление проектами. М.: Либроком, 2009. 384 с.
66. Руководство к Своду знаний по управлению проектами: (руководство РМВОК) [перевод]. 5-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2014, 586 с.
67. Арчибальд Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд ; Пер. с англ. Мамонтова Е. В .; Под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. 462 с.
68. Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В. Жизненный цикл космического проекта // Успехи современной науки и образования, 2016, Т.3, №7, С.27-31
69. NPR 7120.5E – NASA Space Flight Program and Project Management Requirements [Электронный ресурс] // www.nasa.gov [сайт]. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/n_pr_7120_005e_.pdf (дата обращения: 08.11.2019)
70. ECSS-M-ST-10C Rev. 1 – Space project management. Project planning and implementation, ESA, ESA Requirements & Standards Division, ESTEC, Noordwijk, Netherlands. 6 March 2009 // [Электронный ресурс] // www.skatelescope.org [сайт]. URL: https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/ECSS-M-ST-10C_Rev.1%286March2009%29.pdf

71. Волков В.А. Методы оценки и управления реализуемостью проектов по созданию ракетно-космической техники / В.А. Волков // дисс. канд. экон. наук Волкова В.А.: 08.00.05: защищена 22.01.02: утв. 15.07.02. — М., 2015. — 149 с.
72. ГОСТ Р 51282-99. Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов. Нормы проектирования и испытаний (утв. и введен в действие Приказом Госстандарта от 21.05.1999 N 172) [Электронный ресурс] // www.garant.ru [сайт]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/basesearch/Оборудование%20технологическое%20стартовых%20и%20технических%20комплексов%20ракетно-космических%20комплексов.%20Нормы%20проектирования%20и%20испытаний:0> (дата обращения 07.07.2019)
73. ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки (с Изменениями №1, 2, с Поправкой) (утв. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР в декабре 1967 г.; введен в действие 1971-01-01) [Электронный ресурс] // www.docs.cntd.ru [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001990> (дата обращения 09.07.2019)
74. Володин С.В. Управление стадиями жизненного цикла проектов в наукоемких отрасли // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. 2013. №2, С. 39-47
75. Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники // Экономический анализ: теория и практика, 2016. №5, С.29-40
76. Случаи отказов российских спутников. Досье. // [Электронный ресурс]. / www.tass.ru [сайт]. [2016]. URL: <https://tass.ru/info/3258173> (дата обращения 09.07.2019)
77. Невосполнимый «Ресурс»: почему Россия потеряла два сложнейших спутника // [Электронный ресурс]. / www.iz.ru [сайт]. [2018]. URL:

- <https://iz.ru/818176/mikhail-kotov/nevospolnimyi-resurs-pochemu-rossiia-poteriala-dva-slozhneishikh-sputnika> (дата обращения 09.07.2019)
78. Авария из-за ошибки // [Электронный ресурс]. / www.interfax.ru [сайт]. [2010]. URL: <https://www.interfax.ru/russia/169821> (дата обращения 09.07.2019)
79. ГЛОНАСС пополнилась аварией // [Электронный ресурс]. / www.kommersant.ru [сайт]. [2013]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2224508> (дата обращения 09.07.2019)
80. Авария под градусом. Протон-М упал из-за перевернутых датчиков // [Электронный ресурс]. / www.rg.ru [сайт]. [2013]. URL: <https://rg.ru/2013/07/18/proton-site.html> (дата обращения 09.07.2019)
81. «Роскосмос» отозвал все двигатели ракет-носителей «Протон-М» // [Электронный ресурс]. / www.rbc.ru [сайт]. [2017]. URL: <https://www.rbc.ru/society/25/01/2017/588810359a7947497bdd406b> (дата обращения 09.07.2019)
82. Daniel M. Gerstein, James G. Kallimani, Lauren A. Mayer, Leila Meshkat, Jan Osburgand others Developing a risk assessment methodology for the National Aeronautics and Space Administration // RAND Corporation, Santa Monica, Calif. 2016 P. 113
83. Товстонощенко В.Н. Риски инновационной деятельности ракетно-космической промышленности // Вестник СибГАУ. Т.14, №2. С. 523-528
84. Анищенко Ю.А. Башурова Е.С., Копытов В.В. Виды рисков космических проектов // Современные проблемы экономического и социального развития, 2015. №11, С.6-10
85. Медведчиков Д.А. Страховые риски и основные виды космического страхования // [Электронный ресурс]. / www.space-ins.ru [сайт]. [2018]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/o/145-2010-06-20-15-47-20.html> (дата обращения 11.07.2019)
86. Sobol A., Fadeev O. Risk assessment and management in the implementation of projects in the rocket and space complex on the basis of commercial effectiveness principles // MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 212. P. 1-9

87. Фадеев А.С. Прогнозирование экологических последствий космической деятельности космодрома «Восточный» Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2012. Т. 129. № 4. С. 21-32.
88. Закон об охране окружающей среды // [Электронный ресурс]. / www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (дата обращения 09.07.2019)
89. Кондратьев А.Д., Касимов Н.С., Кречетов П.П. и др. Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности / Кондратьев А.Д., Касимов Н.С., Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В., Шарапова А.В.; Под ред. акад. Н.С. Касимова. – М.: Издательство «Спутник +», 2015. – 280 с.
90. Яковлев О.В. Системный анализ безопасности и риска космической ядерной энергетики // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2011. №2, С.44-48
91. ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы. (введен Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2006 г. № 126-ст) [Электронный ресурс] // www.docs.cntd.ru [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-17666-2006> (дата обращения: 20.10.2019)
92. Ocampo R.P., Klaus D.M. Applying regression analysis to model the risk of space flight and terrestrial activities // The journal of Space Safety Engineering. 2018. Vol. 5, P. 135-139
93. Cross R.B. Vesely W.E. Synthesizing a new launch vehicle failure probability based on historical flight data. Probabilistic Safety Assessment and Management [Электронный ресурс] // www.iapsam.org [сайт]. URL: http://www.iapsam.org/psam14/proceedings/paper/paper_281_1.pdf
94. Der Kiureghian A. Risk assessment of satellite launch with reusable launch vehicle // Reliability Engineering and System Safety. 2011. №74. P. 353 - 360

95. Орлов А.И., Цисарский А.Д. Модель оценки рисков проектов при создании ракетно-космической техники // Вестник НПО им. С.А.Лавочкина. 2017. №3 (37). С.89-94
96. Орлов А.И. Цисарский А.Д. Особенности оценки рисков при создании ракетно-космической техники // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 43 (232). С. 37-46
97. ГОСТ 27.301- 95 Надежность в технике. Расчет надежности. (принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации; введен 01.01.1997) [Электронный ресурс] // www.internet-law.ru [сайт]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/9361/> (дата обращения: 18.10.2019)
98. Куренков В.И., Капитонов В.А. Методы расчета и обеспечения надежности ракетно-космических комплексов: учеб. Пособие – Самара: изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 320 с.
99. Основные положения Федеральной космической программы на 2016- 2025 годы [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2016]. URL:<https://www.roscosmos.ru/22347/> (дата обращения 06.08.2019)
100. Петрухин Б.М. Система оценки приоритетов при отборе мероприятий для включения в Федеральную космическую программу России. – Космонавтика и ракетостроение, 2015, №5 (84), С. 33-39
101. Акимов В.Н., Гафаров А.А., Долгуничев К.Д., Коротеева А.А. Вопросы страхования космических аппаратов с ядерными энергодвигательными установками // Страховое дело 2018. №12. С. 39-46 (общий объем публикации – 0, 46 п.л.; личный вклад автора - 0,12 п.л.)
102. Семенкин А.В., Гафаров А.А., Солодухин А.Е., Коротеева А.А. Некоторые вопросы радиационной безопасности и страхования космических аппаратов с ЯЭУ // Атомная энергия 2020. Т.128, №1. С.11-17 (общий объем публикации – 0, 45 п.л.; личный вклад автора - 0,11 п.л.)
103. Аварии и ЧП на российских космических кораблях «Союз» - [Электронный ресурс].: www.ria.ru [сайт]. [2013] URL: <http://ria.ru/spravka/20130913/962986653.html> (10.01.2016)

104. Гафаров А.А., Долгуничев К.Д. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности космических аппаратов с ядерными энергетическими установками большой мощности // Полет. 2016. №1. С.3 -11
105. Космический мусор. В 2 кн. Кн. 1. Методы наблюдения и модели космического мусора / Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова.. М.: Физматлит. 2014. 248 с.
106. Принципы, касающиеся использования ядерных источников энергии в космическом пространстве [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outerspace_nucpower.shtml (дата обращения: 07.08.2019)
107. Рамки обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. http://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_61R.pdf (дата обращения: 07.08.2019)
108. Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outer_space_governing.shtml (дата обращения: 07.08.2019)
109. Конвенция о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами [Электронный ресурс] // www.un.org [сайт]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/damage.shtml (дата обращения: 07.08.2019)
110. Общие положения обеспечения безопасности космических аппаратов с ядерными реакторами (НП-101-17). [Электронный ресурс] // www.consultant.ru [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283142/2ee99c98c93f54276dba740fbc647f95d0beed4/ (дата обращения: 07.08.2019)
111. Первые ядерные энергетические установки в космосе. [Электронный ресурс] // www.biblioatom.ru [сайт]. URL:

<http://www.biblioatom.ru/evolution/dostizheniya/pervye-yadernye-ustanovki-v-kosmose/>

112. Canada, Claim Against the USSR for Damage Caused by Soviet Cosmos 954 [Электронный ресурс] www.jstor.org [сайт] URL: <https://www.jstor.org/stable/20692062?seq=1> (дата обращения 03.08.2019)
113. Карасев П.А. Ядерные энергетические установки в космосе [Электронный ресурс] www.proatom.ru – Информационное агентство «ПРОАтом» [сайт]. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=995> (дата обращения 01.02.2016)
114. Mason, Lee; Sterling Bailey, Ryan Bechtel, John Elliott, Jean-Pierre Fleurial and others "Small Fission Power System Feasibility Study — Final Report" [Электронный ресурс] // www.nap.edu [сайт]. URL: <https://www.nap.edu/resource/13117/App%20G%20Tech%202%20Small%20Fission%20Power%20System.pdf> (дата обращения 10.08.2019)
115. Яковлев О.В. Системный анализ безопасности и риска космической ядерной энергетики [Электронный ресурс] // www.vestnik.vsu.ru [сайт]. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2011/02/2011-02-09.pdf> (дата обращения 08.08.2019)
116. Лисов И. Запуск и полет станции «Марс-96». – Новости космонавтики, 23 октября – 17 ноября 1996 г., том 6, №22-23, с.42-52.
117. С.Ю.Улыбышев. Определение скоростей детонации и разлета осколков при взрыве ракеты-носителя. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Исследования и разработки. № 1, С. 65-69
118. Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета.- М.: Энергоатомиздат, 1987.
119. Проект ТЭМ: ядерный реактор и электроракетный двигатель для космоса [Электронный ресурс] // www.topwar.ru [сайт]. [2019]. URL: <https://topwar.ru/161272-proekt-tjem-jadernyj-reaktor-i-jelektoraketnyj-dvigatel-dlja-kosmosa.html> (дата обращения: 09.10.2019)

120. Коротеев А.А. Капельные холодильники-излучатели космических энергетических установок нового поколения. – М.: Машиностроение, 2008.
121. Конюхов Г.В., Коротеев А.А., Полуэктов В.П. Исследование рабочего процесса в капельном холодильнике- излучателе в условиях микрогравитации и глубокого вакуума. Общероссийский научно-технический журнал «Полет», 2001, № 4, с. 26- 32.
122. А.А. Коротеев, Ю.А. Нагель, Н.И. Филатов. Экспериментальная отработка моделей капельных холодильников-излучателей в условиях микрогравитации и глубокого вакуума // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2015, № 5 , с. 81-89.

Приложения

Приложение 1 Риски, характерные для этапов жизненного цикла космического проекта

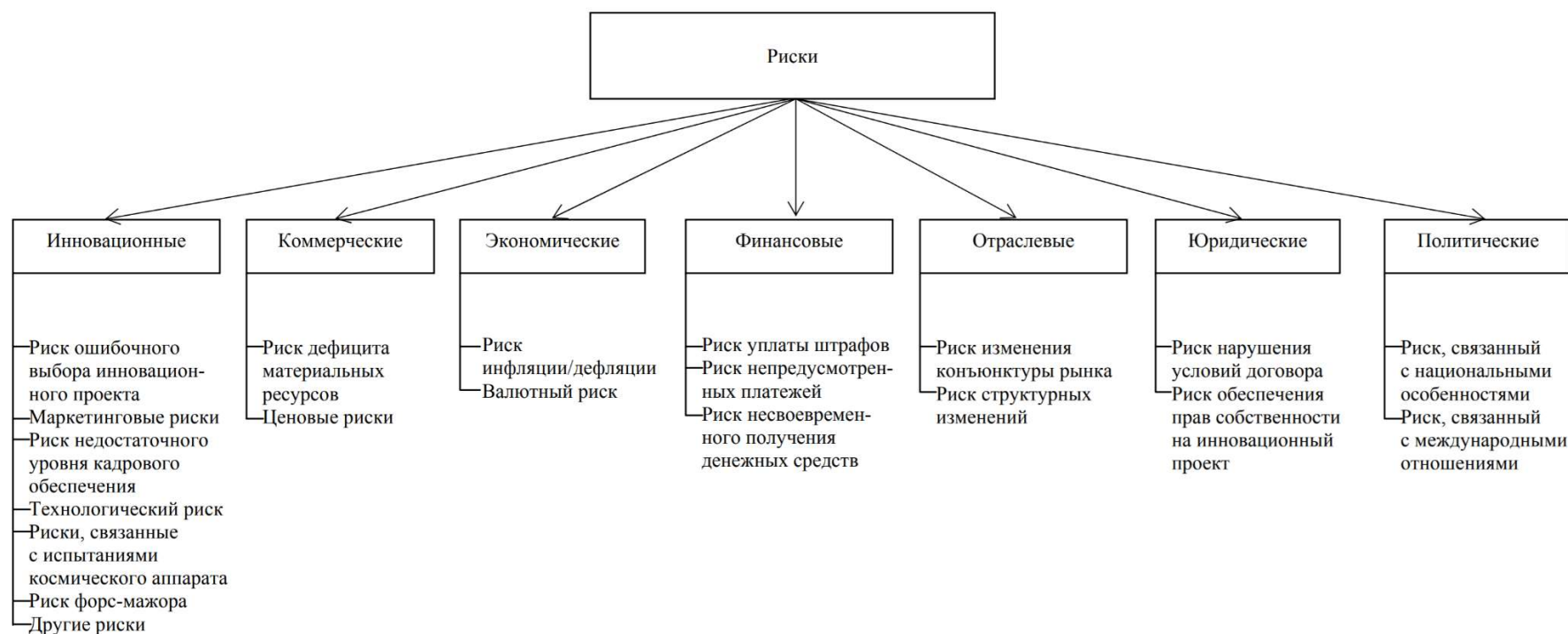
Стадия проекта ракетно-космической техники	Риск	Вероятный ущерб
Научные исследования и разработки		
Техническое задание на разработку проекта ракетно-космической техники	Невозможность выхода на заданные технические требования	Ущерб в размере стоимости опытного образца, стоимости оплаты труда исследователей и разработчиков
	Заниженная предельная цена	Разница между фактической стоимостью изделия и согласованной предельной ценой
	Не выдержаны требования к патентной чистоте	Расходы на возможные судебные издержки и покупку дополнительных лицензий
Конструкторские работы		
Эскизные проект	Несо согласованные кинематические, гидравлические, электрические и др. схемы, общие чертежи и эскизы	Расходы на зарплату разработчиков и возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования
	Ошибочно проведены предварительные технико-экономические расчеты	Расходы на зарплату экономистов, проводивших расчет
Технический проект	Ошибки в прочностных расчетах ключевых систем КА и ядерного реактора , а также в расчетах надежности, срока службы отдельных узлов и деталей, в том числе ЯЭДУ	Стоимость опытного образца, зарплата разработчиков, штрафные санкции за увеличение сроков проектирования. Необоснованное удорожание проекта.
Разработка рабочей проектной документации	Ошибки в документации, обусловленные низкой технологичностью конструкций, ключевых систем КА и ядерного реактора	Зарплата разработчиков и возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования
Опытное производство		
Изготовление моделей, макетов, опытных образцов	Брак в изготовлении опытного образца	Стоимость всего опытного образца или стоимость устранения брака и возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования
Изготовление моделей, макетов, опытных образцов	Брак в изготовлении опытного образца КА с ЯЭДУ	Стоимость всего опытного образца или стоимость устранения брака и возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования

Стадия проекта ракетно-космической техники	Риск	Вероятный ущерб
Испытания	Нарушение режима испытания образца, в том числе ЯЭДУ	Возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования
	Разрушение образца	Стоимость опытного образца
	Разрушение образца и оборудования во время испытания	Стоимость опытного образца, испытательных стендов, оборудования, стоимость ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений
Технологические работы		
Техническое задание на технологическое проектирование	Некорректно составлены планы мероприятий по повышению технологического уровня	Возможные штрафные санкции за увеличение сроков проектирования
Технологический проект	Недостаточный уровень унификации технологический процессов	Удорожание изделия
	Низкая производительность технологичность конструкции	Удорожание изделия
Освоение выпуска нового изделия		
Подготовка производственных площадей	Аварии при демонтаже оборудования и ремонте помещений	Стоимость ликвидации последствий аварии
Монтаж оборудования	Аварии при монтаже оборудования	Стоимость ликвидации последствий аварии
Отладка технологии производства нового изделия	Аварии в процессе отладки новой технологии	Стоимость переработки технологического процесса
		Стоимость ликвидации последствий аварии
Производство		
Производство базовой модели	Аварии, поломка технологического оборудования	Стоимость ликвидации последствий аварии
	Ошибка при производстве конструкций, систем, узлов, элементов КА и ЯЭДУ	
	Срыв контрактов на продажу готовой продукции	Потери времени на заключение новых контрактов
	Срыв контрактов на поставку материалов и комплектующих	Потери времени на заключение новых контрактов и поставку материалов и комплектующих
Расширение	Моральное старение изделий	Стоимость расширения морально устаревшей продукции
Модернизация	Модернизация не соответствует запросам потребителя	Затраты на модернизацию. Стоимость конструкторских и технологических работ.

Стадия проекта ракетно-космической техники	Риск	Вероятный ущерб
Эксплуатация		
Транспортировка к месту начала эксплуатации	Транспортные риски- аварии, повреждения при перевозке, хранении, погрузочно-разгрузочных работах	Стоимость восстановления или полная стоимость изделия
Подготовка к запуску	Ошибки в сборке, заправке КА и ядерного реактора , подключении к сетям, которые приводят к выходу из строя космической техники	Стоимость восстановления или полная стоимость изделия
Запуск	Невыход на расчетную орбиту, авария при запуске, повреждение стартового комплекса	Стоимость ракеты-носителя, космического аппарата, стартового комплекса
Запуск	Несрабатывание аварийной системы увода космического аппарата с ЯЭДУ на радиационно-безопасную орбиту (РБО)	
Эксплуатация	Аварии, вызванные скрытыми дефектами конструкции	Стоимость восстановления или полная стоимость изделия и смежного оборудования, затраты на конструкторскую и технологическую доработку изделия
Утилизация		
Утилизация	Аварии при демонтаже конструкции	Стоимость работ по устранению последствий аварии
	Отказ системы, уводящей КА с ЯЭДУ на орбиту «захоронения»	
	Загрязнение окружающей среды, вызванное нарушением правил утилизации изделия	Стоимость работ по устранению последствий загрязнения окружающей среды, вызванное нарушением правил утилизации

Источник: Хрусталёв Е.Ю., Славянов А.С., Хрусталёв О.Е. Систематизация, классификация и методы компенсации рисков в жизненном цикле сложных наукоемких проектов на примере ракетно-космической техники, С.35-36

Приложение 2 Классификация рисков инновационной деятельности предприятий ракетно-космической промышленности



Источник: Товстонощенко В.Н. Риски инновационной деятельности ракетно-космической промышленности // Вестник СибГАУ. Т.14, №2. С. 523-528

Приложение 3 Перечень городов, попадающих в зоны возможных поражений при запуске с космодрома Байконур и Восточный

Города, попадающие в зону возможного поражения при запуске с космодрома Восточный

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Амурск	Россия	145
Чегдомын	Россия	63,56
Комсомольск-на-Амуре	Россия	325,1
Поронайск	Россия	55

Города, попадающие в зону возможного поражения при запуске с космодрома Байконур

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Харбин	Китай	10204,5
Саппоро	Япония	1121
Сендай	Япония	785,8
Цицикар	Китай	970,3
Хэган	Китай	104
Муданьцзян	Китай	2495
Владивосток	Россия	331,2
Иркутск	Россия	280
Хабаровск	Россия	383
Цзямусы	Китай	756
Цзиси	Китай	899,1
Караганда	Казахстан	497,8
Улан Удэ	Россия	365,71
Иваки	Япония	1232
Асахикава	Япония	747,6
Цитайхэ	Китай	6221
Корияма	Япония	757,2
Яньцзи	Китай	1748
Байчэн	Китай	25683
Акито	Япония	906,1
Усть-Каменогорск	Казахстан	540
Чита	Россия	534
Аомори	Япония	824,6
Мориока	Япония	886,5
Фукусима	Япония	767,7
Семей	Казахстан	210
Хакодате	Япония	677,9
Фулаэрцзи	Китай	375

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Ямагата	Япония	381,6
Суйхуа	Китай	29357
Ангарск	Россия	294
Хатинохе	Япония	305,2
Жансулу	Китай	1394
Благовещенск	Россия	321
Хайлар	Китай	1320
Бийск	Россия	291,7
Шуанъяшань	Китай	4627
Сарту	Китай	548
Кусиро	Япония	1363
Томакомаи	Япония	561,5
Хиросаки	Япония	524,2
Обихиро	Япония	618,9
Темиртау	Казахстан	296,1
Улан-Хото	Китай	772
Хэншань	Китай	934
Рубцовск	Россия	84
Уссурийск	Россия	173
Ичунь	Китай	5896,62
Чжаодун	Китай	4330
Линьфэн	Китай	60
Хунган	Китай	812
Дуньхуа	Китай	11957
Находка	Россия	325,9
Бэйань	Китай	6313
Ачэн	Китай	160,8
Отару	Япония	243,1
Фуэй	Китай	4464
Эбецу	Япония	187,6
Чжаланьтунь	Китай	385
Шуанчэн	Китай	3112
Баошань	Китай	300
Цзяохэ	Китай	6235
Наньча	Китай	7194
Исиномаки	Япония	554,6
Якэши	Китай	39
Корияма	Япония	757,2
Сунъюане	Китай	5733
Китами	Япония	1428
Таонань	Китай	5103
Хэйхэ	Китай	1443
Дидао	Китай	614
Хайлунь	Китай	4667

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Тели	Китай	6620
Кызыл	Россия	97,41
Нэхэ	Китай	6664
Лунцзян	Китай	6197
Цзишу	Китай	1062
Жезказган	Казахстан	47
Саката	Япония	603
Цуруока	Япония	1312
Лишу	Китай	3900
Учан	Китай	87,42
Муроран	Япония	80,65
Китаками	Япония	437,6
Йонезава	Япония	548,5
Читосе	Япония	595
Даан	Китай	40,75
Фуцзинь	Китай	4097
Ванцине	Китай	8994
Мишань	Китай	7724
Нэйцзяне	Китай	5385
Усолье-Сибирское	Россия	74
Хайлинь	Китай	337,9
Ивамидзава	Япония	481,1
Кешан	Китай	1187
Линдун	Китай	908
Шанчжи	Китай	8825
Эрдэнэт	Монголия	208
Шибата	Япония	533,1
Тюменский	Китай	698,5
Линькоу	Китай	7191
Шулань	Китай	4557
Хуньчунь	Китай	5145
Фурукава	Япония	796,8
Натори	Япония	98,17
Биробиджан	Россия	169,4
Фуюй	Китай	4464
Гэньхэ	Китай	350
Ханамаки	Япония	908,4
Ланьси	Китай	2499
Илань	Китай	29,87
Бэйчуань	Китай	3084
Анива	Япония	294,9
Сукагава	Япония	279,4
Чжэньлай	Китай	4713,37
Тайлай	Китай	4061

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Ningan	Китай	7870
Хуанань	Китай	4416
Белогорск	Россия	117,6
Тендо	Япония	113
Одата	Япония	913,2
Товада	Япония	725,6
Китахиросима	Япония	118,5
Итиносеки	Япония	1256
Тяньань	Китай	1227
Шицзячжуан	Китай	518,8
Артем	Россия	506,4
Биньчень	Китай	1041
Няньшань	Китай	30
Алихэ	Китай	19,65
Мизусава	Япония	96,92
Арсеньев	Россия	39,37
Такидзава	Япония	182,5
Чжаоюань	Китай	1432
Миншуй	Китай	2400
Ганьнань	Китай	4384
Фули	Китай	87,87
Анъанси	Китай	623
Сиогама	Япония	17,37
Кесеннума	Япония	332,4
Исикари	Япония	721,86
Суйлэн	Китай	4506
Черемхово	Россия	114,4
Синьчин	Китай	757,6
Тайкан	Китай	1759
Горно-Алтайск	Россия	95,5
Маньчжурия	Китай	732,4
Баянь	Китай	3138
Цуйлуань	Китай	1560
Краснокаменск	Россия	428
Ноборибецу	Япония	212,1
Шахтинск	Казахстан	20
Риддир	Казахстан	77,52
Мияко	Япония	1259
Носиро	Япония	427
Саяногорск	Россия	19
Спасск-Дальний	Россия	43,49
Муцу	Япония	864,2
Гошогавара	Япония	404,2
Шелехов	Россия	31

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Харамати	Япония	398,58
Хондзе	Япония	89,71
Сарань	Казахстан	174
Хиросима	Япония	906,7
Чойбалсан	Монголия	281
Такикава	Япония	115,9
Томия	Япония	49,18
Сагаэ	Япония	139
Мисава	Япония	120
Ивануме	Япония	60,45
Камаиси	Япония	440,3
Абасири	Япония	470,9
Партизанск	Россия	126
Лесозаводск	Россия	71
Отофукэ	Япония	466,1
Вакканай	Япония	761,5
Синдзе	Япония	223,1
Сибата	Япония	533,1
Сироиси	Япония	286,5
Йокоте	Япония	692,8
Омагари	Япония	104,7
Камиисо	Япония	262,4
Куроииси	Япония	217
Дальнегорск	Россия	31
Сома	Япония	197
Большой камень	Россия	119
Китаката	Япония	554,7
Ватари	Япония	73,6
Кадзуно	Япония	707,5
Нихоммацу	Япония	344,4
Рифу	Япония	44,89
Датэ	Япония	265,1
Каминояма	Япония	240,9
Офунато	Япония	322,5
Нанъё	Япония	160,5
Абай	Казахстан	200
Корсаков	Россия	26
Юдзава	Япония	357,3
Какуда	Япония	147,5
Эсаси	Япония	1116
Хигасимацусиме	Япония	101,4
Холмск	Россия	32
Мураками	Япония	1174
Немуру	Япония	512,6

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Нагаи	Япония	214,7
Нанаэ	Япония	216,6
Борзя	Россия	184
Яхаба	Япония	67,32
Дальнереченск	Россия	108,5
Бибай	Япония	277,6
Улангоме	Монголия	13,8
Мураяма	Япония	197
Мурэн	Монголия	102,9
ОГА	Япония	241,1
Нинохе	Япония	420,4
Тоно	Япония	826
Момбецу	Япония	830,7
Накадзе	Япония	265,18
Макубецу	Япония	477,6
Такахата	Япония	180,3
Наеро	Япония	535,2
Румои	Япония	297,4
Гусиноозерск	Россия	14
Фукагава	Япония	529,1
Фурано	Япония	601
Фокино	Россия	16
Рикудзентаката	Япония	231,9
Сухэ-Батор	Монголия	45
Хобара	Япония	571
Накасибецу	Япония	685
Райчихинск	Россия	225,5
Огавара	Япония	25
Тамура	Япония	458
Кусиро	Япония	1363
Мотомия	Япония	88,02
Бихоро	Япония	438,4
Хасама	Япония	51,1
Йоити	Япония	140,6
Таштагол	Россия	79
Синхидака	Япония	1148
Хирака	Япония	63,32
Тобецу	Япония	422,7
Намиэ	Япония	223,1
Лучегорск	Россия	4,25
Ситигахама	Япония	13,25
Сибecu	Япония	1119
Кахоку	Япония	64,44
Янагава	Япония	76,88

Название города	Страна	Площадь (км ²)
Намиока	Япония	132,1
Сираои	Япония	425,8
Обанадзава	Япония	373,3
Китааките	Япония	1153

Приложение 4 Технические характеристики некоторых отечественных ракет-носителей

Тип ракеты-носителя	Количество ступеней	1-ая ст.	Вид двигателя 1-ой ст.	Кол-во двигателей	2-ая ст.	Вид двигателя 2 ст.	Кол-во двигателей	3-я ст.	Вид двигателя 3-й ст.	Кол-во двигателей	4-ая ст.	Вид двигателя 4-ой ст.	Кол-во двигателей
Восток-Л 8К72	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД 107	4	Блок А	РД108	1	Блок Е	РД-0109WZ	1			
Космос 63С1	2	Первая ступень	РД 214У	1	Вторая ступень	РД 119	1						
Восток-Л 8К72К	3												
Восток-2 8А92	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4	Блок А	РД-108	1	Блок Е	РД-0109	1			
Полет	2												
Восход	3												
Восток-2М	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4	Блок А	РД-108	1	Блок Е	РД-0109	1			
Космос 65С3	2												
Молния М	4	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107ММ	4	Блок А	РД-108ММ	1	Блок И	РД-0110	1	Блок Л	С15400	
Космос 11К63	2	Первая ступень	РД-214У	1	Вторая ступень	РД-119	1						
Союз 11А510	3												
Союз 11А511	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4	Блок А	РД-108	1	Блок И	РД-0110	1			
Космос 3М	2	Первая ступень	РД-216М	1	Вторая ступень	ЖРД 11Д49	1						
Циклон-2А	2												
Протон К	4	Первая ступень	6хРД-275	6	Вторая ступень	3хРД-0210 1хРД-0211	4	Третья ступень	Маршевый двигатель 1хРД-0212 Рулевой двигатель 1хРД2014	2	Блок Д	11Д58М	1

Тип ракеты-носителя	Количество ступеней	1-ая ст.	Вид двигателя 1-ой ст.	Кол-во двигателей	2-ая ст.	Вид двигателя 2 ст.	Кол-во двигателей	3-я ст.	Вид двигателя 3-й ст.	Кол-во двигателей	4-ая ст.	Вид двигателя 4-ой ст.	Кол-во двигателей
УР-500	2	Первая ступень	6хРД-273	6	Вторая ступень	3хРД-0210 1хРД-0211	4						
Союз Л	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4	Блок А	РД-108	1	Блок И	РД-0110	1			
Союз М	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4	Блок А	РД-108	1	Блок И	РД-0110	1			
Союз У	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-117А	4	Блок А	РД-118А	1	Блок И	РД-0110	1			
Циклон-3	3				Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107	4						
Союз У2	2	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-117А	4	Блок А (применяется синтин)	РД-118А	1	Блок И	РД-0110	1			
Союз У ПВБ	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-117А	4	Блок А	РД-118А	1	Блок И	РД-0110	1			
Зенит-2	2	Первая ступень	РД-171 (четырёхкамерный)	1	Вторая ступень	РД-120	1	РБ ДМ-SLB	РД58М	1			
Энергия	2	4хБлок А	4хРД-170	4	Блок Ц	4хРД-0120	4						
Рокот	2+РБ	Первая ступень	3хРД-0233 1хРД-0234	4	Вторая ступень	Маршевый двигатель РД-0235 Рулевой двигатель РД-0236 (4камерный)	2	Бриз-КМ	С5.98М	1			

Тип ракеты-носителя	Количество ступеней	1-ая ст.	Вид двигателя 1-ой ст.	Кол-во двигателей	2-ая ст.	Вид двигателя 2 ст.	Кол-во двигателей	3-я ст.	Вид двигателя 3-й ст.	Кол-во двигателей	4-ая ст.	Вид двигателя 4-ой ст.	Кол-во двигателей
Днепр	3												
Зенит 3SL	2+РБ	Первая ступень	РД-171М	1	Вторая ступень	РД-120	1	Блок ДМ-SL	РД-58М	1			
Союз ФГ	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107А	4	Блок А	РД-108А	1	Блок И	РД-0110	1			
Протон М	3	Первая ступень	6хРД-276	6	Вторая ступень	3хРД0210 1х0211	4	Третья ступень	Маршевый двигатель РД-0213 Рулевой двигатель РД-0214	2			
Союз 2.1а	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107А	4	Блок А	РД-108А	1	Блок И	РД-0110	1			
Союз 2.1б	3	Блоки Б,В,Г,Д	4хРД-107А	4	Блок А	РД-108А	1	Блок И	РД-0124	1			
Союз СТБ	2	Блок А	Маршевый двигатель НК-33 Рулевой двигатель РД-0110Р	2	Блок И	РД-0124А	1						
Союз 2.1в	2	Блок А	Марше-вый двигатель НК-33 Рулевой двигатель РД-0110Р	2	Блок И	РД-0124А	1						
Ангара 1.2ПП	2	УРМ-1	РД-191	1	УРМ-2	РД-0124А	1						
Ангара А5	3	4хУРМ-1	РД-191	4	1хУРМ-1	РД-191	1	1хУРМ-2	РД-0124А	1			

Источник: построено автором по данным построено автором по данным Ежегодников большой советской энциклопедии 1958-1989 годов; Запуски [Электронный ресурс] // www.roscosmos.ru [сайт]. [2019]. URL:<https://www.roscosmos.ru/launch/2020/> (дата обращения: 22.01.2020)