

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка имитационной модели для снижения рисков при проведении
электротермовакuumных испытаний космического аппарата связи
негерметичного исполнения»
тема

27.04.03 «Системный анализ и управление»
код и наименование направления

27.04.03.06 «Основы проектирования космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

Руководитель	_____	доцент МБК ПФиКТ, канд. техн. наук	Е.А. Шангина
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		И.Н. Цивилев
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	ЗГД по качеству АО «РЕШЕТНЁВ», канд. техн. наук	Ю.В. Кочев
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____	профессор МБК ПФиКТ, д-р техн. наук, доцент	В.Е. Чеботарёв
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2023

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.Е. Косенко

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2023 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту: Цивилеву Ивану Николаевичу.

Группа КИ21-03-6М.

Направление (специальность) 27.04.03 «Системный анализ и управление».

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка имитационной модели для снижения рисков при проведении электротермовакуумных испытаний космического аппарата связи негерметичного исполнения».

Утверждена приказом по университету № 7290/с от 10.05.2023.

Руководитель ВКР: канд. техн. наук, доцент МБК ПФиКТ СФУ Екатерина Андреевна Шангина.

Исходные данные для ВКР: характеристики внешних поставок сжиженного азота для испытательного комплекса при проведении ЭТВИ КА.

Перечень разделов ВКР.

- 1 Методика управления рисками.
- 2 Разработка имитационной модели электротермовакуумных испытаний космического аппарата (ЭТВИ КА).
- 3 Балансировка параметров имитационной модели для снижения риска негативного влияния на КА при ЭТВИ.

Перечень графического материала: 6 таблиц, 11 рисунков.

Руководитель ВКР

подпись

Е.А. Шангина

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

И.Н. Цивилев

инициалы и фамилия

«01» февраля 2023 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка имитационной модели для снижения рисков при проведении электротермовакуумных испытаний космического аппарата связи негерметичного исполнения» содержит 97 страниц текстового документа, 8 таблиц, 11 рисунков, 6 приложений, список литературы из 44 использованных источников.

РИСК, КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ЭЛЕКТРОТЕРМОВАКУУМНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ, ВАКУУМНАЯ КАМЕРА.

Объект диссертационного исследования – процесс ЭТВИ КА, разрабатываемых на предприятии, входящем в интегрированную структуру Госкорпорации «Роскосмос».

Предмет исследования – анализ возможных рисков в процессе ЭТВИ КА.

Целью исследования является разработка имитационной модели процесса ЭТВИ КА для снижения возможных рисков.

В результате исследования предложена частная имитационная модель функционирования системы поставок ресурса для снижения возможных рисков негативного воздействия на КА при ЭТВИ, связанных с ситуацией дефицита ресурса при ЭТВИ.

Предложенная модель использована для разработки рекомендаций по балансировке параметров, определяющих устойчивое функционирование системы поставок ресурса для нужд ЭТВИ КА.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Методика управления рисками.....	12
1.1 Основные положения методики управления рисками	12
1.2 Идентификация рискованных ситуаций	14
1.2.1 Распознавание риска при обобщении опыта электротермовакuumных испытаний космических аппаратов	14
1.2.2 Описание риска при электротермовакuumных испытаниях космических аппаратов	17
1.3 Анализ рискованных ситуаций	42
1.4 Обработка рисков	46
1.5 Мониторинг рисков.....	49
1.6 Постановка задачи.....	49
1.7 Выводы по главе	52
2 Разработка имитационной модели электротермовакuumных испытаний космического аппарата	54
2.1 Концепция моделирования.....	54
2.1.1 Предмет моделирования	54
2.1.2 Существующий подход к формированию моделей	55
2.1.3 Модели и их виды.....	60
2.1.4 Модельное время и виды процессов.....	66
2.1.5 Имитационное моделирование	69
2.2 Формирование модели системы поставок ресурса для испытаний космического аппарата	73
2.3 Выводы по главе	79
3 Балансировка параметров имитационной модели для снижения риска негативного влияния на космический аппарат при электротермовакuumных испытаниях	80
3.1 Компьютерный эксперимент с моделью системы поставок ресурса	80

3.1.1 Планирование эксперимента с моделью	80
3.1.2 Проведение расчётов и анализ результатов моделирования системы поставок ресурса	82
3.2 Итоги моделирования системы поставок ресурса и выдача рекомендаций	86
3.3 Выводы по главе	88
Заключение	89
Список сокращений	91
Список использованных источников	92
Приложение А Экспертные оценки частотного распределения идентифицированных рисков при ЭТВИ КА	98
Приложение Б Экспертные оценки потенциального ущерба для КА при ЭТВИ по идентифицированным рискам	99
Приложение В Диапазон вариации экспертных оценок по методу PERT	100
Приложение Г Ранжирование рискованных ситуаций по уровню угрозы для КА при ЭТВИ	101
Приложение Д Реестр рисков для КА при ЭТВИ	102
Приложение Е Конструкция частной имитационной модели поставок ресурса для ЭТВИ КА на языке GPSS	105

ВВЕДЕНИЕ

Космический аппарат (КА) является техническим устройством, предназначенным для функционирования в космическом пространстве для решения задач в соответствии с целью установленной его разработчиками [39].

Космический аппарат, будучи сложной технической системой, в процессе своего создания проходит комплекс различных видов наземной экспериментальной отработки, позволяющей подтвердить заложенные при проектировании требования. Наиболее значимыми видами наземной экспериментальной отработки (НЭО) КА можно выделить испытания на механические воздействия, испытания на воздействие факторов космического пространства, электрические комплексные проверки функционирования оборудования КА и др. Для НЭО характерно подтверждение характеристик КА при наихудшем сочетании режимов его работы и воздействующих факторов [25], [40].

На каждом из видов НЭО КА задействовано различное контрольно-проверочное оборудование, системы по обеспечению условий проведения испытаний, автоматизированный комплекс обеспечения, управления и регистрации результатов испытаний, а также обслуживающий и управляющий персонал [33], [41].

Процесс проведения любого вида НЭО КА сопровождается риском негативного воздействия на КА или его жизненный цикл сбоев, перерывов в работе, неисправностей случайного характера или следствия некоторых закономерностей. Базовыми причинами существования риска отрицательного воздействия на КА вероятных событий могут являться поломки испытательного оборудования, повреждения линий связи, информационные сбои в локальных компьютерных сетях, нарушения устойчивости работы инженерных систем зданий-сооружений и т.д.

В широком смысле под понятием *риск* понимается оценка ситуации принятия решений, имеющей неопределённость исхода, при обязательном наличии неблагоприятных последствий [11].

Наиболее показательным видом НЭО в плане возникновения различного спектра нештатных и аварийных ситуаций является электротермовакuumные испытания (ЭТВИ) КА из-за [10]:

- использования технически сложных систем для создания условий вакуума и криогенных температур;
- наличия обширного разнообразия стендов для проверки электрических и высокочастотных характеристик оборудования КА;
- особенностей метода испытаний КА при крайних допустимых уровнях температуры;
- специфики терморегулирования КА в вакууме (только излучением в окружающее пространство);
- сложности алгоритма комплексных перекрёстных электрических проверок КА;
- необходимости постоянной координации значительного количества задействованного персонала различных сегментов комплекса – операторов управления ходом тестирования КА, а также операторов сопровождения функционирования испытательного оборудования для имитации условий испытаний;
- длительности и непрерывности процесса испытаний (более 22 суток).

Факторы сложности и длительности, присущие процессу ЭТВИ КА, способны нести риск негативного влияния на КА, а также усугублять последствия наступления рискованной ситуации из-за неопределённостей различного рода, несовершенства используемых методик и инструкций, а также отсутствия строгой алгоритмизации действий лиц, принимающих решения, для широкого охвата возможных прогнозируемых ситуаций.

Научным сообществом разработаны и успешно применяются методики по управлению рисками в отношении изготовления, испытаний и поставок

компонентов в интересах различных технических проектов, реализуемых в промышленной среде мирового сообщества [9]. Множество промышленных предприятий проводят политику в области управления рисками и возможностями путём проведения комплекса работ по идентификации, анализу, оцениванию и снижению рисков через реализацию разрабатываемых мероприятий по управлению рисками.

На предприятиях космической отрасли применяются системы по управлению рисками проектов, определяющие отношение предприятий к рискам и устанавливающие методику и процессы системы через положения нормативной документации [31]. Формирование массива данных для эффективной работы системы управления рисками производится с позиции обобщённых уровней с постепенным углублением в сторону детализации. Для предприятий отрасли риск-ориентированный подход к ведению проектов по созданию КА представляет собой достаточно новое явление, а для инженеров, которые непосредственно генерируют процесс разработки и испытаний технических систем или узлов, является малознакомой областью знаний [27].

В настоящий момент на предприятиях космической отрасли нашей страны не разработаны практики анализа технических рисков негативного влияния на КА, возникающих при ЭТВИ.

Существует проблема с обобщением и структурированием информационного материала по рисковым ситуациям негативного воздействия на КА при проведении ЭТВИ.

В этой связи крайне актуальной становится потребность в проведении мероприятий по работе с рисками для КА при ЭТВИ с использованием типовых программ управления рисками, содействующих совершенствованию системы менеджмента качества предприятия и способных парировать тяжесть последствий наступления риска.

Целью диссертационного исследования является разработка имитационной модели процесса ЭТВИ КА для снижения возможных рисков.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить ряд задач:

- 1) проанализировать возможные рисковые ситуации при ЭТВИ КА;
- 2) провести оценку существующего на предприятии-разработчике КА способа парирования рисковой ситуации при ЭТВИ КА;
- 3) предложить модель имитации рисковой ситуации для ЭТВИ КА (освещалось нами в [37]);
- 4) сформулировать рекомендации для снижения вероятности наступления риска для КА при ЭТВИ, основываясь на результатах вычислительного эксперимента.

Объектом исследования является процесс ЭТВИ КА, разрабатываемых на предприятии, входящем в интегрированную структуру Госкорпорации «Роскосмос» [23].

Предмет исследования – анализ возможных рисков в процессе ЭТВИ КА.

Научная новизна исследования заключается в разработке частной имитационной модели рисковой ситуации при ЭТВИ КА.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования результатов моделирования рисковой ситуации процесса ЭТВИ КА для повышения качества управления путём оптимизации.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников.

В первой главе проведена идентификация рисковых ситуаций при ЭТВИ КА. Составлен реестр возможных рисков. Обозначена проблема отсутствия полноценного перечня рисковых ситуаций на предприятии-разработчике КА, при наличии которых требуется выполнение специальных действий по снижению риска. Рассмотрены имеющиеся методы по снижению негативных последствий для КА при проведении ЭТВИ.

Во второй главе проведена оценка релевантности существующего подхода по алгоритмизации действий для снижения риска при ЭТВИ КА. Предложена и описана модель имитации рисковой ситуации для КА при ЭТВИ.

В третьей главе на основе результатов расчёта по предложенной имитационной модели сформулированы рекомендации для снижения риска при проведении ЭТВИ КА.

[изъято 1-3 главы, страницы 12-88, а также Приложения А-Е, страницы 98-105, в соответствии с заявлением Приложение Б к ВКР].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование посвящено проблеме наличия риска негативного воздействия на КА при проведении ЭТВИ.

Цель диссертационного исследования была достигнута. Результатом работы является частная имитационная модель функционирования системы поставок ресурса для снижения возможных рисков негативного воздействия на КА, связанных с ситуацией дефицита ресурса при ЭТВИ. В процессе исследования решены все поставленные задачи.

1 Проведена идентификация 23 рисков ситуаций негативного воздействия на КА при проведении ЭТВИ. Проведен анализ рисков, выделены уровни составных частей рисков. На основе выделенных уровней частей рисков проведено ранжирование рисков, выделены уровни угроз по рискам. Проведена обработка рисков, предложены меры по снижению уровня угроз по рискованным ситуациям.

2 Проведена оценка релевантности существующего подхода предприятия-разработчика КА к снижению влияния риска при ЭТВИ КА. Обозначены недостатки используемого подхода и область применимости.

3 Предложена частная имитационная модель для моделирования рисков ситуации в процессе ЭТВИ КА, вызванной дефицитом ресурса, предназначенного для создания необходимых условий испытаний. В основе предложенной модели лежит имитационный метод в виде СМО.

4 Проведен вычислительный эксперимент на модели системы поставок ресурса для нужд ЭТВИ КА, сформулированы эксплуатационные рекомендации.

Научная новизна диссертационного исследования: разработана частная имитационная модель рисков ситуации при ЭТВИ КА.

Практическая значимость: предложенная модель использована для разработки рекомендаций по балансировке параметров, определяющих устойчивое функционирование системы поставок ресурса для нужд ЭТВИ КА.

Апробация рекомендаций в процессе проведения очередных ЭТВИ КА на предприятии позволит провести валидацию модели, а также внести необходимые её уточнения (при необходимости).

Перспективным направлением исследования является усложнение модели в части расширения каналов поставки и потребления ресурса, добавления накопителей, что обусловлено будущими планами предприятия-разработчика КА по вводу в эксплуатацию дополнительного испытательного комплекса термовакуумной отработки.

По теме исследования опубликовано 2 статьи [37], [38].

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АО	–	Акционерное общество
КА	–	космический аппарат;
НЭО	–	наземная экспериментальная отработка;
РФ	–	Российская Федерация;
СМО	–	Система массового обслуживания;
СТР	–	система терморегулирования;
ЭВМ	–	электронная вычислительная машина;
ЭТВИ	–	электротермовакuumные испытания;
GPSS W	–	General Purpose System Simulation World / Мировая общецелевая система моделирования;
PERT	–	Program Evaluation and Review Technique / метод оценки и анализа программ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 14Ф152.0000-0И18.1 Космический аппарат 14Ф152. Инструкция на испытания. Часть вторая. Организация и порядок проведения электротермовакuumных испытаний.
- 2 14Ф152.0000-0ПМ191 Космический аппарат 14Ф152.Програма и методика испытаний на герметичность гибких трубопроводов охлаждения поглощающих ВЧ-нагрузок.
- 3 14Ф152.6090-0РЭ Специализированное рабочее место ЭТВИ КА. Руководство по эксплуатации.
- 4 14Ф152.6401-0 Оборудование для термовакuumных испытаний.
- 5 380.ГВУ600-ПМ1 Программа и методика подготовки ГВУ-600 к проведению термобалансных и электротермовакuumных испытаний изделия.
- 6 Вишняков, Я. Д. Общая теория рисков : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – 2-е изд., испр. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 386 с.
- 7 ГОСТ 24026–80 Исследовательский испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения = Research tests. Experiment planning. Terms and definitions : Государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 06 марта 1980 г. № 1035 : введен впервые : дата введения 1981–01–01. – Москва : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991 – 19 с.
- 8 ГОСТ 9293–74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия = Gaseous and liquid nitrogen. Specifications : Межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25 июля 1974 г. № 1773 : введен взамен ГОСТ 9293-59 : дата введения 1976–01–01. – Москва : Стандартиформ, 2007 – 18 с.

9 ГОСТ Р 51901–2002 Управление надежностью. Анализ риска технологических систем = Dependability management. Risk analysis of technological systems : Государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 г. № 236-ст : введен впервые : дата введения 2003–09–01 / разработан Научно-исследовательским институтом контроля и диагностики технических систем (АО НИЦ КД). – Москва : Госстандарт России, 2002 – 28 с.

10 ГОСТ Р 56469–2015 Аппараты космические автоматические. Термобалансные и термовакуумные испытания = Automatic spacecraft's. Thermal balance and thermal vacuum tests : Национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2015 г. № 707-ст : введен впервые : дата введения 2016–01–01 / разработан Открытым акционерным обществом «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева (ОАО «ИСС»). – Москва : Стандартинформ, 2015 – 16 с.

11 ГОСТ Р 58771–2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска = Risk management. Risk assessment technologies : Национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2019 г. № 1405-ст : взамен ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 : дата введения 2020–03–01 / разработан некоммерческим партнерством «Русское Общество Управления Рисками» (НП «РусРиск»). – Москва : Стандартинформ, 2020. – 90 с.

12 ГОСТ Р 58781–2019 Ракетно-космическая техника. Система менеджмента качества. Управление рисками при обеспечении качества изделий ракетно-космической техники = Rocket-and-space technology. Quality management system. Risk management for space technology quality control : Национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное :

утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 декабря 2019 г. № 1473-ст : введен впервые : дата введения 2020–04–01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш). – Москва : Стандартинформ, 2020 – 36 с.

13 Енохович А. С. Краткий справочник по физике / А. С. Енохович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : «Высшая школа», 1976. – 288 с.

14 Журнал учёта и расхода жидкого азота при испытаниях.

15 ИОТ 169-380-03-2022 Инструкция по охране труда для работников при выполнении работ с жидким и газообразным азотом.

16 Колесников, А. П. Системы терморегулирования космических аппаратов : курс лекций / А. П. Колесников ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2017. – 140 с.

17 Криогенные вакуумные насосы, гелиевые компрессоры / Компания «БЛИМ Синержи» : сайт. – 2023. – URL: <https://blms.ru/kriogennnye-nasosy> (дата обращения 16.05.2023).

18 Крупнейшие землетрясения XXI века // Информационное агентство ТАСС [сайт]. – URL: <https://tass.ru/info/16986795> (дата обращения 16.05.2023).

19 Кто в 2023-м лидирует в космической гонке и каковы шансы остальных стран // Тренды: РБК [сайт]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/64527ec99a7947423334313b?page=trend&nick=industry> (дата обращения 16.05.2023).

20 Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев – Москва : ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

21 Лукьяненко, М. В. Моделирование систем и процессов : учебное пособие / М. В. Лукьяненко, Е. В. Пащенко, Н. П. Чурляева : под ред. Н. П. Чурляевой; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – 394 с.

22 Описание продукции и услуг / ООО Торговый дом «Факел» : сайт. – 2023. – URL: <https://tdfakel.ru/catalogue> (дата обращения 16.05.2023).

23 Организации Госкорпорации «Роскосмос» // Госкорпорация «Роскосмос» : официальный сайт. – 2023. URL: <https://www.roscosmos.ru/24028> (дата обращения 16.05.2023).

24 Патент № 2485027 Российская Федерация, МПК В64G 1/50 (2006.1). Система терморегулирования космического аппарата № 2011133110/11 : заявл. 05.08.2011 : опубл. 20.06.2013 / Халиманович В. И., Лавров В. И., Колесников А. П., Цивилев И. Н., Попов А. В., Шайбин А. О., Ганенко С. А., Акчурин Г. В., Акчурин В. П. – 7 с.

25 Патраев, В. Е. Надежность космических аппаратов информационного обеспечения : учебн. пособие / В. Е. Патраев, В. И. Халиманович ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – 208 с.

26 Р 50.1.069–2009 Менеджмент риска. Рекомендации по внедрению. Часть 2. Определение процесса менеджмента риска = Risk management. Guide on implementation. Part 2. Determination of risk management process : Рекомендации по стандартизации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1259-ст : введен впервые : дата введения 2010–12–01 / разработан Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») . – Москва : Стандартинформ, 2010 – 16 с.

27 Риск-ориентированный подход как направление совершенствования системы менеджмента качества промышленных предприятий / М.М. Ивашина, Е.А. Нацыпаева, Л.Ф. Попова // Экономический журнал – 2018. – № 5. – С. 26–39. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/risk-orientirovannyu-podhod-kak-napravlenie-sovershenstvovaniya-sistemy-menedzhmenta-kachestva-promyshlennyh-predpriyatiy/viewer> (дата обращения 16.05.2023).

28 Санкции для посредников. Как Запад может бороться с ввозом в Россию запрещенных товаров // BBC News Русская служба [сайт]. – URL: <https://www.bbc.com/russin/features-65234429> (дата обращения 16.05.2023).

29 Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов // Отраслевой научно-технический журнал «ИСУП» [сайт]. – URL: <https://isup.ru/articles/2/5410> (дата обращения 16.05.2023).

30 СОВЧН Ж.2013-0РЭ Система водяного охлаждения поглощающих ВЧ-нагрузок. Руководство по эксплуатации.

31 СТО 154–270–2022 Система менеджмента качества. Система управления рисками проектов АО «ИСС» : дата введения 2023–02–20. – Железногорск : АО ИСС, 2022. – 26 с.

32 Строгалев, В. П. Имитационное моделирование: учебное пособие / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – 4-е изд. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 295 с.

33 Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др.: Учебн. пособие. – М.: Логос, 2003. – 736 с.: ил.

34 Углев, В. А. Имитационное моделирование: учеб. пособие / В. А. Углев, В. А. Устинов; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан: РИО ХТИ – филиала СФУ, 2011. – 117 с.

35 Указ Губернатора Красноярского края «Об ограничении посещения общественных мест гражданами (самоизоляции) на территории Красноярского края» от 31.03.2020 № 73-уг // Красноярский край. Официальный интернет-портал правовой информации [сайт]. – URL: <http://zakon.krskstate.ru/0/doc/65423> (дата обращения 16.05.2023).

36 Управление рисками космических проектов : монография / Г. П. Беляков, Ю. А. Анищенко, А. В. Анкудинов, М. В. Сафронов ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2017. – 184 с.

37 Цивилев, И.Н. Модель для управления рисками при проведении электротермовакuumных испытаний космических аппаратов / И. Н. Цивилев,

Е. А. Шангина // Контроль и испытания ракетно-космической техники : материалы XXVI Международной конференции «Решетневские чтения». В 2 частях. Ч.1 / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2022 – С. 410–411.

38 Цивилев, И.Н. Применение системного анализа для оценки рисков при проведении электротермовacuумных испытаний космических аппаратов / И. Н. Цивилев, Е. А. Шангина // Контроль и испытания ракетно-космической техники : материалы XXV Международной конференции «Решетневские чтения». В 2 частях. Ч.1 / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2021 – С. 393–394.

39 Чеботарев, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие / В. Е. Чеботарев, В. Е. Косенко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – 488 с.

40 ECSS-E-30 Part 1A – Space engineering. Mechanical – Part 1: Thermal Control ESA, Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 25 April 2000.

41 ECSS-E-10-03A – Space engineering. Testing ESA, ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 15 February 2002.

42 ECSS-E-10A – Space engineering. System Engineering ESA, ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 10 April 1996.

43 ECSS-E-10-02A – Space engineering. Verification ESA, ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 17 November 1998.

44 ECSS-M-ST-80C – Space project management. Risk management ESA, ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 31 July 2008.


Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия

« 15 » 06 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка имитационной модели для снижения рисков при проведении
электротермовакуумных испытаний космического аппарата связи
негерметичного исполнения»
тема

27.04.03 «Системный анализ и управление»
код и наименование направления

27.04.03.06 «Основы проектирования космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

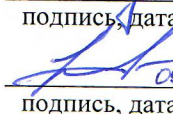
Руководитель

 13.06.23
подпись, дата

доцент МБК ПФиКТ,
канд. техн. наук
должность, ученая степень

Е.А. Шангина
инициалы, фамилия

Выпускник

 09.06.23
подпись, дата

И.Н. Цивилев
инициалы, фамилия

Рецензент

 15.06.23
подпись, дата

ЗГД по качеству
АО «РЕШЕТНЁВ»,
канд. техн. наук
должность, ученая степень

Ю.В. Кочев
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

 09.06.23
подпись, дата

профессор
МБК ПФиКТ,
д-р техн. наук, доцент
должность, ученая степень

В.Е. Чеботарёв
инициалы, фамилия

Красноярск 2023