

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной  
работе

Лейфа А.В. Лейфа

3 июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАКЕТНО-  
КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»

Направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 4 Семестр 7

Экзамен 7 сем

Общая трудоемкость дисциплины 108.0 (академ. час), 3.00 (з.е)

Составитель В.В. Сердакова, Старший преподаватель,  
Институт компьютерных и инженерных наук  
Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 05.02.18 № 71

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры стартовых и технических ракетных комплексов

01.02.2024 г. , протокол № 7

Заведующий кафедрой Соловьев В.В. Соловьев

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

3 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

3 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

3 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и  
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

3 июня 2024 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель дисциплины:

формирование систематизированных знаний о функционировании ракетно-космических систем и комплексов на основных этапах жизненного цикла, понимание степени сложности процесса проектирования и роли системы управления, приобретение студентами навыков математического описания отдельных составных элементов ракетно-космических систем.

### Задачи дисциплины:

- изучение теоретических основ функционирования ракетно- космических систем и комплексов, технических, технологических и экономических аспектов функционирования;
- освоение основных методов расчета основных проектных параметров и целевых показателей эффективности функционирования космических систем наблюдения;
- освоение методов моделирования функционирования космических систем наблюдения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к профессиональному циклу дисциплин подготовки бакалавра по направлению 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, умениях и компетенциях студента, полученных при изучении предшествующих дисциплин, среди которых наиболее важное значение имеют:

1. Математический анализ
2. Теория вероятностей и математическая статистика
3. Информатика
4. Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость
5. Основы устройства летательных аппаратов
6. Газодинамика
7. Комплексы наземного оборудования летательных аппаратов
8. Теплообмен в стартовых системах

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

### 3.1. Универсальные компетенции и индикаторы их достижения

Категория (группа) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции
Системное критическое мышление и	УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	ИД - 1ук-1 Знать: - методики поиска, сбора и обработки информации; - актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; - метод системного анализа. ИД - 2ук-1 Уметь: - применять методики поиска, сбора и обработки информации; -осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; применять

		<p>системный подход для решения поставленных задач. ИД - Зук-1 Владеть: - методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза</p>
--	--	--

### 3.2 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен осуществлять проектирования, конструирования и сопровождения на всех этапах жизненного цикла КА, КС и составных частей	<p>ИД - 1 пк-1 Знать: - последовательность и содержание основных этапов проектирования КА и КС, ключевые требования массо- габаритного совершенства конструкции и надёжности. ИД - 2 пк-1 Уметь: - разрабатывать проекты КА, КС и их составных частей, оформлять проектно- конструкторскую и рабоче- конструкторскую документацию ИД - 3 пк-1- Владеть: - практическим опытом сопровождения процесса и испытания КА, КС и их составных частей, анализа и оценки их работы в процессе эксплуатации</p>

## 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.00 зачетных единицы, 108.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

## 7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Введение	7	4		6								4	Самостоятельная работа. Тест
2	Типовые технологические процессы при подготовке к пуску ЛА, показатели эффективности их выполнения.	7	4		7								4	Самостоятельная работа. Тест
3	Модели функционирования оборудования РКК с использованием случайных процессов.	7	4		7								4	Самостоятельная работа. Тест
4	Модели функционирования оборудования РКК с использованием теории массового обслуживания.	7	4		7								4	Самостоятельная работа. Тест
5	Имитационные модели функционирования оборудования РКК	7	2		7								4	Самостоятельная работа. Тест
6	Экзамен	7								0.3	35.7			Самостоятельная работа. Тест
Итого			18.0		34.0		0.0	0.0	0.0	0.3	35.7	20.0		

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Введение	Ракетные и космические комплексы (РКК), как сложные системы: наличие цели при создании и эксплуатации, наличие многоуровневых подсистем, связей между подсистемами. Эксплуатационные характеристики оборудования РКК: количественные и качественные; группы эксплуатационных характеристик, отражающие свойства и взаимодействие наземного технологического оборудования, ракет-носителей,

		разгонных блоков, космических аппаратов.
2	Типовые технологические процессы при подготовке к пуску ЛА, показатели эффективности их выполнения.	<p>Понятие о технологической цепочке оборудования РКК, типовые элементы. Состав эксплуатационных характеристик для оценки эффективности функционирования оборудования РКК при выполнении технологических процессов. Комплексные показатели надежности РКК: структурные формулы, определения, условия применения, состав исходных данных. Особенности обобщенного показателя надежности РКК, времени подготовки к пуску изделия, коэффициента готовности и коэффициента технического использования. Методы распределения показателей надежности между составными элементами РКК: прямое распределение; пропорциональное распределение; оптимальное распределение. Специальные показатели надежности, применяемые к оборудованию РКК: структурные формулы, методы определения, условия применения, учет особенностей применения по назначению оборудования, состав исходных данных.</p>
3	Модели функционирования оборудования РКК с использованием случайных процессов.	<p>Определение случайной функции, случайного процесса. Структурная схема случайного процесса: семейство траекторий, временные сечения, характеристики временных сечений. Характеристики случайных процессов. Примеры случайных процессов. Классификация случайных процессов. Основные виды и определения потоков случайных событий. Примеры потоков случайных событий. Понятие интенсивности потока и частоты событий за временной интервал. Определение Марковского случайного процесса. Математический анализ случайного процесса: формулировка состояний; вероятности состояний; графа состояний. Финальные вероятности и эргодическая система.</p> <p>Непрерывная цепь Маркова: уравнения состояний и правила их построения; состав исходных данных; нормировочное условие; области применения. Алгоритм применения непрерывной цепи Маркова для моделирования функционирования оборудования РКК при подготовке изделия к пуску. Альтернирующие процессы восстановления. Порядок применения альтернирующих процессов восстановления для оценки специальных показателей надежности и показателей эффективности функционирования оборудования РКК: вероятности суммарной наработки за выделенное календарное время; вероятности продолжительности восстановления не более установленного значения в течение применения по назначению.</p>

4	<p>Модели функционирования оборудования РКК с использованием теории массового обслуживания.</p>	<p>Структура системы массового обслуживания (СМО). Классификация систем массового обслуживания. Структура сетей массового обслуживания. Одноканальные и многоканальные СМО с отказом: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их аналитическое решение (стационарный и нестационарный случаи); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик. Одноканальные и многоканальные СМО с ожиданием и неограниченной очередью: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их решение (аналитическое и графическое в стационарном и нестационарном случаях); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик. Одноканальные и многоканальные замкнутые СМО с ожиданием: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их решение (аналитическое и численное с помощью пакетов прикладных программ в стационарном и нестационарном случаях); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик.</p>
5	<p>Имитационные модели функционирования оборудования РКК</p>	<p>Вероятностные модели отказов многих типов по минимальной наработке типовых элементов оборудования РКК: приближенное определение суммарной плотности распределения наработки на отказ технологической цепочки оборудования. Понятие и применение функции восстановления для моделирования процессов функционирования РКК с учетом его старения и с учетом его технического обслуживания. Метод статистического имитационного моделирования функционирования РКК: суть метода; параллельные случайные процессы; модельное время; временная диаграмма; особые состояния; порядок реализации метода; оценка точности; сравнительный анализ с аналитическими методами; оптимальное количество реализаций случайных величин. Примеры учета воздействия случайных факторов на оборудование РКК и алгоритмы построения имитационных моделей.</p>

## 5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Введение	Пример использования метода Дельфи при экспертном отборе состава основных эксплуатационных характеристик оборудования РКК. Оценка специальных показателей надежности оборудования РКК
Типовые технологические процессы при подготовке к пуску ЛА, показатели эффективности их выполнения.	Алгоритм формирования типового состава исходных данных для построения моделей функционирования различных видов оборудования РКК с использованием случайных процессов
Модели функционирования оборудования РКК с использованием случайных процессов.	Примеры формализации функционирования оборудования РКК с помощью различных моделей систем массового обслуживания.
Модели функционирования оборудования РКК с использованием теории массового обслуживания.	Оценка показателей эффективности оборудования РКК с помощью одноканальных и многоканальных замкнутых систем массового обслуживания с ненадежными каналами обслуживания
Имитационные модели функционирования оборудования РКК	Построение временных диаграмм для разработки имитационных моделей функционирования оборудования РКК

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Введение	Подготовка отчета к выполнению практической работы № 1, конспект по теме, подготовка к защите работы	4
2	Типовые технологические процессы при подготовке к пуску ЛА, показатели эффективности их выполнения.	Подготовка отчета к выполнению практической работы № 2, конспект по теме, подготовка к защите работы	4
3	Модели функционирования оборудования РКК с использованием случайных процессов.	Подготовка отчета к выполнению практической работы № 3, конспект по теме, подготовка к защите работы	4
4	Модели функционирования оборудования РКК с использованием теории массового обслуживания.	Подготовка отчета к выполнению практической работы № 4, конспект по теме, подготовка к защите работы	4



5	Имитационные модели функционирования оборудования РКК	Подготовка отчета к выполнению практической работы № 5, конспект по теме, подготовка к защите работы	4
---	---	--	---

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Интегральная модель образовательного процесса по дисциплине формируют технологии методологического уровня: технология поэтапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления, самоуправление. На занятиях используются методы активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля. При чтении лекции используются мультимедийные презентации. При выполнении практических работ используется прием интерактивного обучения «Кейс- метод»: студентам выдается задание для подготовки к выполнению работы; с преподавателем обсуждается цель работы и ход её выполнения; цель анализируется с разных точек зрения, выдвигаются гипотезы, делаются выводы, анализируются полученные результаты. Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникаций со студентами для предоставления информации, выдача рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта)

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Примерные вопросы к экзамену:

1. Ракетные и космические комплексы (РКК), как сложные системы: наличие цели при создании и эксплуатации, наличие многоуровневых подсистем, связей между подсистемами.
2. Эксплуатационные характеристики оборудования РКК: количественные и качественные; группы эксплуатационных характеристик, отражающие свойства и взаимодействие наземного технологического оборудования, ракет- носителей, разгонных блоков, космических аппаратов.
3. Понятие о технологической цепочке оборудования РКК, типовые элементы. Состав эксплуатационных характеристик для оценки эффективности функционирования оборудования РКК при выполнении технологических процессов.
4. Комплексные показатели надежности РКК: структурные формулы, определения, условия применения, состав исходных данных.
5. Особенности обобщенного показателя надежности РКК, времени подготовки к пуску изделия, коэффициента готовности и коэффициента технического использования.
6. Методы распределения показателей надежности между составными элементами РКК: прямое распределение; пропорциональное распределение; оптимальное распределение.
7. Специальные показатели надежности, применяемые к оборудованию РКК: структурные формулы, методы определения, условия применения, учет особенностей применения по назначению оборудования, состав исходных данных.
8. Определение случайной функции, случайного процесса. Структурная схема случайного процесса: семейство траекторий, временные сечения, характеристики временных сечений.
9. Характеристики случайных процессов. Примеры случайных процессов. Классификация случайных процессов. Основные виды и определения потоков случайных событий.
10. Примеры потоков случайных событий. Понятие интенсивности потока и частоты событий за временной интервал.
11. Определение Марковского случайного процесса. Математический анализ случайного процесса: формулировка состояний; вероятности состояний; графа состояний. Финальные вероятности и эргодическая система.
12. Непрерывная цепь Маркова: уравнения состояний и правила их построения; состав

исходных данных; нормировочное условие; области применения.

13. Алгоритм применения непрерывной цепи Маркова для моделирования функционирования оборудования РКК при подготовке изделия к пуску. Альтернирующие процессы восстановления.

14. Порядок применения альтернирующих процессов восстановления для оценки специальных показателей надежности и показателей эффективности функционирования оборудования РКК: вероятности суммарной наработки за выделенное календарное время; вероятности продолжительности восстановления не более установленного значения в течение применения по назначению.

15. Классификация систем массового обслуживания. Структура сетей массового обслуживания.

16. Одноканальные и многоканальные СМО с отказом: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их аналитическое решение (стационарный и нестационарный случаи); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик.

17. Одноканальные и многоканальные СМО с ожиданием и неограниченной очередью: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их решение (аналитическое и графическое в стационарном и нестационарном случаях); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик.

18. Одноканальные и многоканальные замкнутые СМО с ожиданием: постановка задач; допущения; исходные данные; состояния; графы состояний; уравнения состояний и их решение (аналитическое и численное с помощью пакетов прикладных программ в стационарном и нестационарном случаях); вероятности состояний; показатели эффективности и поиск их оптимальных значений; применение при моделировании функционирования оборудования РКК для оценки его характеристик.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) литература**

1. Кузнецов, О. П. Дискретная математика для инженера : учебное пособие / О. П. Кузнецов. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-0570-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210278> (дата обращения: 08.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Бахвалов, Л. А. Моделирование систем : учебное пособие / Л. А. Бахвалов. — Москва : Горная книга, 2006. — 295 с. — ISBN 5-7418-0402-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/3511> (дата обращения: 08.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Певзнер, Л. Д. Практикум по математическим основам теории систем : учебное пособие / Л. Д. Певзнер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-1411-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211259> (дата обращения: 08.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Александров, А. А. Управление техническими объектами стартовых ракетных комплексов и обеспечение безопасности их эксплуатации : учебное пособие / А. А. Александров, Б. М. Новожилов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 107 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/52302> (дата обращения: 08.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Васильев, А. Н. Числовые расчеты в Excel : справочник / А. Н. Васильев. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-1580-9. — Текст : электронный //

Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212198> (дата обращения: 08.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	7-Zip	Бесплатное распространение по лицензии GNU LGPL <a href="http://www.7-zip.org/license.txt">http://www.7-zip.org/license.txt</a> .
2	MATLAB+SIMULINK	Academic classroom 25 по договору №2013.199430/949 от 20.11.2013.
3	ANSYS 10	Договор №218 от 11.12.2015.
4	SolidWorks Educational Edition 500 Campus Supscription Servise 3 Years	Договор №241 от 17.12.2015.
5	Mathcad Education – University Edition	25 раб. мест по Software Order Fulfillment Confirmation, Service Contract # 4A1934168 от 18.12.2014.
6	Учебный комплект программного обеспечения КОМПАС-3D V16 на 50 рабочих мест. Проектирование и конструирование в машиностроении	Сублицензионный договор № Ец-15-000059 от 08.12.2015.
7	<a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	<a href="http://www.gks.ru/">http://www.gks.ru/</a>	Федеральная служба государственной статистики: Официальный сайт с базами данных
2	<a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>	Google Scholar —поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин.
3	<a href="https://minobrnauki.gov.ru/">https://minobrnauki.gov.ru/</a>	Министерств науки и высшего образования Российской Федерации
4	<a href="http://wndow.edu.ru">http://wndow.edu.ru</a>	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
5	<a href="http://www.multitrans.ru/">http://www.multitrans.ru/</a>	Мультитран. Информационная справочная система «Электронные словари»

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, практических работ с лабораторным оборудованием, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам. Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета. Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях,

оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета На занятиях применяется следующее техническое оборудование: ПЭВМ на базе процессора Intel Pentium, проектор.