

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - ознакомить студентов с основными положениями эксплуатации и испытаний систем управления летательными аппаратами. Задачи - научить студентов применять методы планирования эксперимента и анализа результатов испытаний; оценивать эффективность и надежность ЛА по результатам испытаний; дать сведения о правилах безопасности при проведении экспериментов.

## Краткое содержание дисциплины

Лекции посвящены таким разделам как основные характеристики объектов испытаний (назначение объектов испытаний, математическое моделирование движения ЛА), методы проведения эксперимента и анализа результатов испытаний (теория и методы измерений, информационно-измерительные системы, методы испытаний и анализа результатов, планирование эксперимента), оценка эффективности ЛА по результатам испытаний (контроль состояния и техническая диагностика, оценка эффективности ЛА в условиях отсутствия и наличия априорной информации, испытания на надежность), специальные виды экспериментальной отработки ЛА в процессе летных испытаний (летные испытания самолета, летные испытания объектов ракетно-космического комплекса).

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПК-33 способностью проводить наладку, настройку, регулировку, проверку и опытную эксплуатацию приборов и агрегатов систем в соответствии со стандартами и техническими условиями	Знать: основные положения эксплуатации систем управления ЛА
	Уметь: проводить настройку приборов в соответствии со стандартами и ТУ
	Владеть: навыками использования измерительных приборов
ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Знать: знать основные уравнения движения
	Уметь: пользоваться программами проектирования СУ движением ЛА
	Владеть: навыками проектирования СУ движением ЛА
ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов	Знать: назначение основных элементов бортового вычислительного комплекса

систем управления движением летательных аппаратов, включая разработку их архитектуры, математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования	Уметь:разрабатывать математические модели
	Владеть:приемами формирования облика бортовых вычислительных комплексов
ПСК-9.3 способностью проводить контроль и диагностику систем управления движением летательных аппаратов	Знать:основные положения проведения контроля и диагностики СУ движением ЛА
	Уметь:проводить контроль и диагностику СУ движением ЛА с использованием вычислительной техники
	Владеть:навыками получения оценки параметров объекта по результатам измерений
ПСК-9.4 способностью проверять и готовить к эксплуатации приборы и устройства систем управления движением летательных аппаратов	Знать:способы проверки приборов и устройств СУ движением ЛА
	Уметь:использовать методы проверки приборов и устройств СУ движением ЛА
	Владеть:навыками проверки приборов и устройств СУ движением ЛА

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
ДВ.1.06.01 Моделирование динамических систем, В.1.04 Прикладная теория надежности, Б.1.21 Метрология, стандартизация и сертификация	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
ДВ.1.06.01 Моделирование динамических систем	Знать способы построения и моделирование систем управления по структурным схемам
Б.1.21 Метрология, стандартизация и сертификация	Знать методы и характеристики средств измерения
В.1.04 Прикладная теория надежности	Знать способы повышения надежности за счет резервирования аппаратных средств

#### 4. Объем и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	9
Общая трудоёмкость дисциплины	216	108	108
<i>Аудиторные занятия</i>	96	48	48
Лекции (Л)	48	24	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	0	0	0
Лабораторные работы (ЛР)	48	24	24
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	120	60	60
Подготовка к лабораторным занятиям	80	40	40
Подготовка к зачету	20	20	0
Подготовка к экзамену	20	0	20
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Основные характеристики объектов испытаний	14	8	0	6
2	Методы проведения эксперимента и анализа результатов испытаний	38	20	0	18
3	Оценка эффективности ЛА по результатам испытаний	30	12	0	18
4	Специальные виды экспериментальной отработки ЛА в процессе летных испытаний	14	8	0	6

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Назначение объектов испытаний. Объект испытаний как элемент комплексной системы. Основные характеристики, параметры и режимы работы объекта. Параметры движения и управления летательного аппарата (перегрузки, угловые и линейные скорости, углы и др.), определяемые в процессе проведения испытаний. Возмущения и внешние воздействия на летательный аппарат. Основные маневры, выполняемые летательным аппаратом.	4

		Характеристики атмосферы и космического пространства	
2	1	Математическое моделирование движения ЛА. Классификация моделей движения: детерминированные, стохастические, неопределенные; линейные и нелинейные; стационарные и нестационарные; формальные, факторные, смешанные (комбинированные); дифференциальные и аналитические. Требования, предъявляемые к моделям. Критерии адекватности. Использование метода размерностей и теории подобия при построении моделей.	4
3	2	Теория и методы измерений. Уравнения измерений. Прямые, косвенные и совокупные измерения. Погрешности измерения: полные и частные, инструментальные и методические, статические и динамические, случайные и систематические. Классификация методов измерений по назначению, выходному сигналу, способу представления информации, по дистанционности действия. Физические принципы измерения скорости и высоты полета, числа М, положения объекта в пространстве, углов тангажа, углов атаки и скольжения, угловых скоростей, перегрузки, вибраций, температуры наружного воздуха и поверхности, давления, расхода и температуры жидкостей.	4
4	2	Информационно-измерительные системы. Классификация информационно-измерительных систем по назначению, степени автоматизации, принципам построения. Основные характеристики информационно-измерительных систем: точность, быстродействие, помехозащищенность. Принцип действия и характеристика бортовых измерительных систем, радиотелеметрических систем, оптических и радиотехнических систем определения траектории. Назначение, функции и структура автоматизированных систем обработки данных, алгоритмы и программное обеспечение обработки.	6
5	2	Методы испытаний и анализа результатов. Основные этапы и программы испытаний летательных аппаратов, двигательных установок и оборудования. Виды и средства испытаний, моделирование, стендовые и натурные испытания, летающие лаборатории, аналоги, летающие модели, сертификационные испытания на соответствие нормам летной годности. Пассивный и активный эксперимент. Методы пересчета результатов испытаний на другие условия. Случайные величины. Законы распределения случайных величин. Определение закона распределения случайной величины по статическим данным. Критерии согласия. Методы нахождения оценок параметра закона распределения по результатам экспериментов. Состоятельность, несмещенность и эффективность оценок. Характеристика случайных процессов: средние значения, среднеквадратические значения и дисперсии, матрицы ковариационных и взаимных ковариационных функций. Свойства стационарности и эргодичности. Многомерные нормальные случайные процессы. Спектральное представление случайного стационарного процесса. Методы оценивания параметров моделей: метод максимального правдоподобия, байесовские оценки, оценки метода наименьших квадратов. Доверительные интервалы для параметров модели. Проверка гипотез, ошибки первого и второго	6

		рода. Модели рассеивания. Модели досягаемости. Оценка точности системы по единичным реализациям. Методы проверки адекватности модели. Понятие наблюдаемости и идентифицируемости. Оценивание параметров по настраиваемой модели. Поисковые и градиентные методы настройки. Метод дифференциальной аппроксимации. Идентификация линейных динамических систем. Типы тестовых сигналов. Идентификация методами стохастической аппроксимации и последовательного обучения. Идентификация методами квазилинеаризации и инвариантного погружения. Эвристические методы идентификации. Автоматизация процессов натуральных испытаний. Принципы проведения управляемого эксперимента.	
6	2	Планирование эксперимента. Основные понятия планирования эксперимента: информационная матрица, ротатабельные и ортогональные планы эксперимента, центральные планы, область планирования. Полные факторные и дробные факторные планы эксперимента. Рандомизация переменных. Оптимальные планы эксперимента. Последовательное планирование.	4
7	3	Контроль состояния и техническая диагностика. Назначение, классификация, структура построения средств контроля и технической диагностики. Основные технические характеристики средств контроля как информационно-измерительных средств. Эффективность средств контроля. Определение и оценка эффективности. Методы определения и оценка технических характеристик средств контроля. Принципы обеспечения заданных показателей достоверности контроля работоспособности.	4
8	3	Оценка эффективности ЛА в условиях отсутствия и наличия априорной информации. Точность оценки эффективности. Влияние недостоверной информации о результатах испытаний. Определение доверительного интервала для оценки эффективности системы по результатам испытаний ее компонент. Анализ степени взаимного влияния отдельных компонент комплекса. Учет условий получения априорной информации на достоверность оценки эффективности системы.	4
9	3	Испытания на надежность. Основные понятия. Показатели надежности. Методические основы обеспечения и оценки надежности ЛА и его отдельных элементов при экспериментальной отработке.	4
10	4	Обработка телеметрической информации при летных испытаниях самолета. Целевые полеты по программе заводских испытаний. Устранение дефектов динамики и управляемости скоростных самолетов при летных испытаниях. Специальные виды измерений и калибровок. Методы определения основных летно-технических и пилотажных характеристик самолета. Испытания в предельной области режимов полета. Методы установления эксплуатационных ограничений для самолета. Летные исследования критических режимов современного скоростного самолета.	4
11	4	Обработка телеметрической информации при летных испытаниях объектов ракетно-космического комплекса (РКК). Нормы и режимы испытаний ракет-носителей. Нормативно-методическое обеспечение безопасности полета пилотируемых РКК. Особенности	4

		летной отработки спускаемых аппаратов. Летные испытания РКК единичного применения. Анализ особых, нестандартных ситуаций в процессе космического полета.	
--	--	--	--

## 5.2. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Математическое моделирование движения ЛА	6
2	2	Получение экспериментальных данных движения ЛА	6
3	2	Обработка экспериментальных данных движения ЛА	6
4	2	Методы оценивания и анализа результатов измерений	6
5	3	Контроль состояния и техническая диагностика	6
6	3	Оценка эффективности ЛА в условиях отсутствия и наличия априорной информации	6
7	3	Испытания на надежность	6
8	4	Обработка телеметрической информации при летных испытаниях	6

## 5.3. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к лабораторным занятиям	основная литература - 1	80
Подготовка к зачету	основная литература - 1-2	20
Подготовка к экзамену	основная литература 1-2	20

## 6. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ПК-33 способностью проводить наладку, настройку, регулировку, проверку и опытную эксплуатацию приборов и агрегатов систем в соответствии со стандартами и техническими условиями	Индивидуальная беседа	1
Основные характеристики объектов испытаний	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Зачет	1
Методы проведения эксперимента и анализа результатов испытаний	ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов систем управления движением летательных аппаратов, включая разработку их архитектуры,	Зачет	2

	математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования		
Оценка эффективности ЛА по результатам испытаний	ПСК-9.3 способностью проводить контроль и диагностику систем управления движением летательных аппаратов	Экзамен	1
Специальные виды экспериментальной отработки ЛА в процессе летных испытаний	ПСК-9.4 способностью проверять и готовить к эксплуатации приборы и устройства систем управления движением летательных аппаратов	Экзамен	2

## 7. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Индивидуальная беседа	Проверка подготовки к лабораторным работам. Студенту задаются вопросы, соответствующие тематике лабораторной работы	Зачтено: правильный ответ на вопрос, допускаются незначительные ошибки Не зачтено: неправильный ответ на вопрос
Зачет	Студент отвечает на 2 вопроса по первым двум разделам	Зачтено: правильный ответ на 2 вопроса, допускаются незначительные неточности Не зачтено: ответ только на один вопрос, ошибки в изложении материала
Экзамен	Проводится письменно, студент отвечает на 2 вопроса	Отлично: правильный ответ на 2 вопроса Хорошо: правильный ответ на 2 вопроса, допускаются незначительные ошибки Удовлетворительно: правильный ответ только на один вопрос Неудовлетворительно: ответ менее, чем на один вопрос

### Типовые контрольные задания

*Контрольные вопросы для проведения проверки подготовки к лабораторным занятиям*

Назовите основные характеристики, параметры и режимы работы объекта.

Перечислите параметры движения и управления летательного аппарата.

Какие бывают возмущения и внешние воздействия на ЛА?

Перечислите основные маневры, выполняемые ЛА.

Какие имеются характеристики атмосферы и космического пространства?

Приведите классификацию моделей движения

Каковы требования, предъявляемые к моделям движения?

Какие существуют критерии адекватности?  
Чем обусловлены погрешности измерения?  
Приведите классификацию методов измерений  
Какие физические принципы измерения скорости и высоты полета?  
Какие основные характеристики информационно-измерительных систем?  
Какие имеются методы оценивания параметров моделей?  
Перечислите типы тестовых сигналов?  
Каково назначение, классификация, структура построения средств контроля и технической диагностики?  
Основные технические характеристики средств контроля как информационно-измерительных средств?  
В чем состоит эффективность средств контроля?  
Какие методы определения и оценка технических характеристик средств контроля?  
Перечислите принципы обеспечения заданных показателей достоверности контроля работоспособности  
Каково влияние недостоверной информации о результатах испытаний?  
Как осуществляется анализ степени взаимного влияния отдельных компонент комплекса?  
Каким образом ведется учет условий получения априорной информации на достоверность оценки эффективности системы?  
Как строятся испытания на надежность?  
Перечислите показатели надежности.

*Контрольные вопросы для проведения зачета*

## РАЗДЕЛ 1.

1. Основные характеристики, параметры и режимы работы объекта.
2. Параметры движения и управления летательного аппарата (перегрузки, угловые и линейные скорости, углы и др.), определяемые в процессе проведения испытаний.
3. Возмущения и внешние воздействия на ЛА.
4. Основные маневры, выполняемые ЛА.
5. Характеристики атмосферы и космического пространства.
6. Классификация моделей движения.
7. Требования, предъявляемые к моделям движения.
8. Критерии адекватности.
9. Использование метода размерностей и теории подобия при построении моделей.

## РАЗДЕЛ 2.

1. Уравнения измерений.
2. Прямые, косвенные и совокупные измерения.
3. Погрешности измерения.



4. Классификация методов измерений.
5. Физические принципы измерения скорости и высоты полета, числа М, положения объекта в пространстве, углов тангажа, углов атаки и скольжения, угловых скоростей, перегрузки, вибраций, температуры наружного воздуха и поверхности, давления, расхода и температуры жидкостей.
6. Классификация информационно-измерительных систем.
7. Основные характеристики информационно-измерительных систем.
8. Принцип действия и характеристика бортовых измерительных систем, радиотелеметрических систем, оптических и радиотехнических систем определения траектории.
9. Назначение, функции и структура автоматизированных систем обработки данных, алгоритмы и программные обеспечения обработки.
10. Основные этапы и программы испытаний летательных аппаратов, двигательных установок и оборудования.
11. Виды и средства испытаний.
12. Пассивный и активный эксперимент.
13. Методы пересчета результатов испытаний на другие условия.
14. Законы распределения случайных величин.
15. Определение закона распределения случайной величины по статическим данным.
16. Методы нахождения оценок параметра закона распределения по результатам экспериментов.
17. Характеристика случайных процессов: средние значения, среднеквадратические значения и дисперсии, матрицы ковариационных и взаимных ковариационных функций.
18. Спектральное представление случайного стационарного процесса.
19. Методы оценивания параметров моделей.
20. Доверительные интервалы для параметров модели.
21. Модели рассеивания. Модели досягаемости.
22. Оценка точности системы по единичным реализациям.
23. Методы проверки адекватности модели.
24. Понятие наблюдаемости и идентифицируемости.
25. Оценивание параметров по настраиваемой модели.
26. Метод дифференциальной аппроксимации.
27. Идентификация линейных динамических систем.
28. Типы тестовых сигналов.
29. Автоматизация процессов натуральных испытаний.
30. Основные понятия планирования эксперимента.
31. Полные факторные и дробные факторные планы эксперимента.

## 32. Оптимальные планы эксперимента.

### *Контрольные вопросы для проведения экзамена*

#### РАЗДЕЛ 3

1. Назначение, классификация, структура построения средств контроля и технической диагностики.
2. Основные технические характеристики средств контроля как информационно-измерительных средств.
3. Эффективность средств контроля.
4. Методы определения и оценка технических характеристик средств контроля.
5. Принципы обеспечения заданных показателей достоверности контроля работоспособности.
6. Влияние недостоверной информации о результатах испытаний.
7. Определение доверительного интервала для оценки эффективности системы по результатам испытаний ее компонент.
8. Анализ степени взаимного влияния отдельных компонент комплекса.
9. Учет условий получения априорной информации на достоверность оценки эффективности системы.
10. Испытания на надежность.
11. Показатели надежности.

#### РАЗДЕЛ 4

1. Целевые полеты по программе заводских испытаний.
2. Устранение дефектов динамики и управляемости скоростных самолетов при летных испытаниях.
3. Специальные виды измерений и калибровок.
4. Методы определения основных летно-технических и пилотажных характеристик самолета.
5. Испытания в предельной области режимов полета.
6. Методы установления самолету эксплуатационных ограничений.
7. Летные исследования критических режимов современного скоростного самолета.
8. Нормы и режимы испытаний ракет-носителей.
9. Нормативно-методическое обеспечение безопасности полета пилотируемых РКК.
10. Особенности летной отработки спускаемых аппаратов.
11. Летные испытания РКК единичного применения.
12. Анализ особых, нештатных ситуаций в процессе космического полета.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Лэй, Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов Текст практ. рук. : пер. с англ. Э. Лэй. - М.: Группа ИДТ, 2007. - 335 с. ил. 25 см.
2. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов Учеб. пособие для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов "Информатика и вычисл. техника" А. Б. Сергиенко. - СПб. и др.: Питер, 2003. - 603 с. ил.
3. Автоматический контроль и диагностика систем управления силовыми установками летательных аппаратов В. И. Васильев, Ю. М. Гусев, А. И. Иванов и др. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с. ил.
4. Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем Текст В. М. Буренок, В. Г. Найденов, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Безопасность и надежность технических систем Текст учеб. пособие для вузов по специальности "Испытание летат. аппаратов" Л. Н. Александровская и др. - М.: Логос, 2008. - 375, [1] с. ил.

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Основная литература	Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем / Текст В. М. Буренок, В. Г. Найденов, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный