


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФМАТ  В.И. Ряжских
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей»

Специальность 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 м.

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы



/ К.В. Кружаев /

Заведующий кафедрой
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

- обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области практического применения основных идей и методов обеспечения и подтверждения надежности и безаварийности ЖРД при проектировании, испытаниях и эксплуатации.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- овладеть основными принципами обеспечения надежности ЖРД;
- освоить особенности возникновения отказов и их последствий;
- освоить схемы и методы расчета надежности двигателей и их структурных элементов;
- освоить виды и особенности испытаний ЖРД, подтверждающих их надежность;
- освоить нормативные правила, обеспечивающих снижение вероятности отказов ЖРД;
- проведение лабораторных испытаний с целью исследования видов и особенностей испытаний ЖРД.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен осуществлять подготовку, обработку, анализ результатов испытаний двигателей и энергетических установок летательных аппаратов и их составных частей

ПК-1 - Способен проводить расчёты прочности, надежности и рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	Знать виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих завершенность их наземной и летной отработки и возможность передачи в эксплуатацию; виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих качество их изготовления.
	Уметь определять статические и динамические характеристики основных агрегатов ДУ с ЖРД.
	Владеть методами определения статических и динамических

	характеристики основных агрегатов ДУ с ЖРД.
ПК-1	Знать цели и задачи расчетного анализа надежности; численные показатели надежности, типовые методы их оценки; классификацию видов отказов, их причин и последствий; основные этапы создания ЖРД, их последовательность и цели; структурные схемы надежности ЖРД.
	Уметь оценивать показатели надежности, классифицировать виды отказов
	Владеть основными инженерными методами расчета статических и динамических характеристик основных агрегатов и ЖРД в целом как объекта регулирования; методологией разработки программ экспериментальной отработки ЖРД.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		10
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	63	63
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	РАЗДЕЛ 1. Введение в	Лекция 1. Общее представление о	2	-	2	5	9

	надежность ракетно-космической техники. Общие сведения об испытаниях ЖРД.	задачах надежности. Развитие теории и практики надежности. Историческая справка о катастрофах при осуществлении космических программ. Показ видеофильмов о катастрофах. Характеристика основных причин, вызвавших аварии и катастрофы. Самостоятельная работа: Просмотр видеозаписей по запускам ракет и огневым испытаниям двигателей, предоставленных базовым предприятием. Лекция 2. Роль и место испытаний в комплексе работ по созданию ЖРД. Классификация испытаний. Самостоятельное изучение: ЖРД как объект испытаний					
2	РАЗДЕЛ 2. Основы организации испытаний. Обработка результатов испытаний	Лекции 3-4. Общие положения. Метрологические характеристики. Оценка надежности по результатам испытаний. Типовые формы задания и подтверждения требований по надежности в технических заданиях на разработку ЖРД. Самостоятельное изучение: Оценка погрешностей. Методы планирования испытаний. Лекции 5-6. Методы обработки результатов испытаний. Статистические оценки параметров. Функция распределения по результатам испытаний. Влияние уровня доверительной вероятности на требуемый объем подтверждающих испытаний (Графическая иллюстрация). Самостоятельное изучение: Интервальное оценивание генеральных характеристик. Типовой перечень измерений параметров ЖРД на огневом стенде и в летных испытаниях.	4	2	6	10	22
3	РАЗДЕЛ 3. Определительные испытания. Контрольные испытания.	Лекции 7-8. Общие положения. Планирование определительных испытаний. Оценка показателей безотказности на основе параметрических методов. Проверка соответствия экспериментальных данных выбранному закону распределения. Самостоятельное изучение: Оценка показателей безотказности на основе непараметрических методов. Принципы классификации результатов огневых испытаний ЖРД на «зачетные» и «незачетные» при оценке надежности. Лекции 9-10. Общие положения. Контрольные испытания методом однократной выборки. Планирование контрольных испытаний методом однократной выборки. Контрольные испытания методом последовательного анализа. Метод ускоренной последовательности. Виды огневых стендов для испытаний ЖРД. Самостоятельное изучение: Планирование контрольных испытаний методом последовательного анализа. Типовые программы регулирования работы ЖРД при огневом испытании.	4	4	8	10	26
4	РАЗДЕЛ 4. Ускоренные испытания на надежность.	Лекции 11-12. Показатели и виды ускоренных испытаний. Построение	2	4	6	10	22

		<p>базовой зависимости и выбор режима испытаний. Планирование испытаний. Расчеты надежности по информации вида «Успех – Отказ». Расчеты надежности по информации вида «Параметр – поле допуска». Определение надежности составных элементов двигателя, агрегатов и систем двигателя. Основные проблемы надежности, испытаний и безаварийности ракетных двигателей. Сведения о системах измерения, обработки результатов испытаний и стендовых системах аварийной защиты двигателей.</p> <p>Самостоятельное изучение: Обработка результатов испытаний. Зависимости, используемые для расчета общей надежности двигателя по составляющим оценкам надежности его агрегатов (систем).</p>					
5	РАЗДЕЛ 5. Надежность невозстанавливаемых элементов и систем	<p>Лекция 13-14 Надежность элементов в период приработки. Оценка предельного состояния. Вероятность безотказной работы по заданному критерию. Понятие о системах в теории надежности. Расчет надежности основной системы. Программы обеспечения надежности и комплексные программы экспериментальной отработки.</p> <p>Виды наземных огневых испытаний ЖРД, подтверждающие полноту конструкторской отработки, качество производства и безотказность двигателей в эксплуатации. Эксплуатационных и гарантийных условия и режимы испытаний ЖРД, их роль и значение при создании ЖРД. Общее понятие об ускоренных испытаниях ЖРД на надежность.</p> <p>Самостоятельное изучение: Контрольные испытания, проводимые в процессе изготовления ЖРД для подтверждения качества изготовления, условия и режимы их проведения.</p>	2	4	6	12	24
6	РАЗДЕЛ 6. Надежность ЖРД. Прогнозирование и методы повышения надежности	<p>Лекция 15-18 ЖРД как объект оценки надежности. Обоснование количественных требований к надежности ЖРД. Расчет характеристик надежности по схеме «нагрузка-прочность». Расчет надежности по критериям прочности. Состояние ЖРД и задачи контроля. Методы прогнозирования надежности двигателя. Техническое и технологическое обеспечение надежности. Принципиальные вопросы обеспечения надежности, рекомендуемые для учета при дипломном проектировании и защите дипломного проекта.</p> <p>Самостоятельное изучение: Оценка и обеспечение надежности на различных этапах создания ЖРД. Расчет параметрической надежности ЖРД. Расчет надежности ЖРД как последовательной системы</p>	4	4	8	16	32
Итого			18	18	36	63	135

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Расчёт доверительного интервала массового расхода газа по испытаниям эталона форсунки.

2. Расчёт доверительного интервала приведенного перепада давления контрольного гидравлического сопротивления теплообменника.

3. Расчёт доверительного интервала давления контрольного гидравлического сопротивления при гидродинамических испытаниях по определению величины давления во входном коллекторе смесительной головки.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 10 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Оценка безотказно работы ЖРД»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- Оценка безотказности по схеме «Успех – Отказ»

- Последовательность оценки безотказности по схеме «Параметр – Заданное Поле Допуска»

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	Знать виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих завершенность их наземной и летной отработки и возможность передачи в эксплуатацию; виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих качество их изготовления.	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь определять статические и динамические характеристики	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в

	основных агрегатов ДУ с ЖРД.		рабочих программах	рабочих программах
	Владеть методами определения статических и динамических характеристики основных агрегатов ДУ с ЖРД.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-1	Знать цели и задачи расчетного анализа надежности; численные показатели надежности, типовые методы их оценки; классификацию видов отказов, их причин и последствий; основные этапы создания ЖРД, их последовательность и цели; структурные схемы надежности ЖРД.	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь оценивать показатели надежности, классифицировать видов отказов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основными инженерными методами расчета статических и динамических характеристик основных агрегатов и ЖРД в целом как объекта регулирования; методологией разработки программ экспериментальной отработки ЖРД.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 10 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-5	Знать виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих завершенность их наземной и летной отработки и возможность передачи в эксплуатацию; виды огневых испытаний ЖРД, подтверждающих качество их	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	изготовления.					
	Уметь определять статические и динамические характеристики основных агрегатов ДУ с ЖРД.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами определения статических и динамических характеристик основных агрегатов ДУ с ЖРД.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-1	Знать цели и задачи расчетного анализа надежности; численные показатели надежности, типовые методы их оценки; классификацию видов отказов, их причин и последствий; основные этапы создания ЖРД, их последовательность и цели; структурные схемы надежности ЖРД.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь оценивать показатели надежности, классифицировать виды отказов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основными инженерными методами расчета статических и динамических характеристик основных агрегатов и ЖРД в целом как объекта регулирования; методологией разработки программ экспериментальной отработки ЖРД.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. К незачетным отказам относят:

а) отказы изделий, причины которых однозначно установлены и устранены, а эффективность принятых мер по устранению причин отказа подтверждена исследованиями и испытаниями.

б) отказы изделий, причины которых не могут быть однозначно установлены и устранены, а эффективность принятых мер по устранению причин отказа подтверждена исследованиями и испытаниями.

в) отказы изделий, причины которых однозначно установлены и устранены, при этом эффективность принятых мер по устранению причин отказа допускается не подтверждать.

г) отказы изделий, причины которых не могут быть однозначно установлены и устранены, при этом эффективность принятых мер по устранению причин отказа допускается не подтверждать.

2. При каком типе цензурирования имеет место снятие с испытаний некоторых изделий по организационным причинам или в результате отказов их элементов, надежность которых не исследуется?

а) I тип цензурирования.

б) II тип цензурирования.

в) III тип цензурирования.

3. Найти параметры плана $[n, U, T]$ при заданных значениях относительной погрешности $\varepsilon_0=0,10$, уровней значимости $\alpha_1=\alpha_2=0,05$. Путем сопоставления с аналогами испытываемого изделия определено $T_{\text{ож}} = 100$ ч.

а) $[10, U, T=53 \text{ ч.}]$.

б) $[11, U, T=58 \text{ ч.}]$.

в) $[8, U, T=43 \text{ ч.}]$.

г) $[10, U, T=56 \text{ ч.}]$.

4. Вероятность появления события A определяют по формуле.

а) $P(A) = nIN$.

б) $A=A_1+A_2+\dots+A_n$.

в) $A = A, A_2 - A_n$.

5. Биномиальный закон распределения.

а) $P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m}$.

б) $P_n(m) = e^{-\lambda} \cdot \lambda^m / m!$.

в) $P(\alpha < X < \beta) = (\alpha - \beta) / (a - b)$.

г) $P(\alpha < X < \beta) = (1 - e^{-\lambda b}) - (1 - e^{-\lambda a})$.

6. Формула коэффициента смещения.

а) $K = \Delta R / \acute{o}$.

б) $K = (R - \Delta_0) / u_p$.

в) $\Delta_0 = (R_H + R_n) / 2$.

г) $\delta = \Delta x / x$.

7. Испытания, основанные на последовательном методе контроля это:

а) объем наблюдений, необходимый для принятия решения о соответствии или несоответствии, заранее не устанавливается и является случайной величиной.

б) когда решение о соответствии или несоответствии уровня надежности партии изделий принимается по результатам испытаний заранее определенного числа изделий.

в) когда решение о соответствии или несоответствии уровня надежности партии изделий принимается по результатам испытаний заранее определенного числа изделий при этом объем наблюдений, необходимый для принятия решения о соответствии или несоответствии, заранее не устанавливается и является случайной величиной.

г) объем наблюдений, необходимый для принятия решения о соответствии или несоответствии, заранее устанавливается и не является случайной величиной.

8. Требуется разработать план контрольных испытаний, т. е. определить c и n , партии изделий в объеме 1000 единиц, если при наработке до отказа $t_0 = 200$ ч нормальный уровень вероятности отказа изделия $Q_0(t_0 = 200 \text{ ч}) = 0,03$, максимально допустимый уровень - $Q_{01}(t_0 = 200 \text{ ч}) = 0,1$. Риски изготовителя $\alpha = 0,1$ и заказчика $\beta = 0,2$.

а) $c = 40; n = 2$.

б) $c = 65; n = 4$.

в) $c = 35; n = 1$.

г) $c = 50; n = 2$.

9. Определить суммарный объем стендовых и летных испытаний, требуемый для подтверждения надежности ДУ $p_{мз} = 0,99$ при $\gamma = 0,95$ при условии отсутствия зачетных отказов и доверительной вероятности, связанной с полнотой и достоверностью имитации летных условий $\gamma_{им} = 0,99$. Фактический объем стендовых испытаний составляет $N_{CM} = 255$.

а) 258.

б) 295.

в) 305.

г) 315.

10. Составить план контрольных испытаний при следующих условиях: контролируемые уровни средней наработки $T_0 = 150$ ч, $T_{01} = 120$ ч; риски изготовителя и заказчика $\alpha = \beta = 0,1$. Известно, что распределение наработки нормальное.

а) $T_{np} = 125; n = 19$.

б) $T_{np} = 133; n = 33$.

в) $T_{np} = 169; n = 39$.

г) $T_{np} = 182; n = 48$.

11. Необходимо провести испытания партии изделий с требуемым уровнем надежности: наработкой до отказа не менее 30 ч и средним квадратическим отклонением 2,5 ч. Риск изготовителя $\alpha = 0,03$, риск заказчика $\beta = 0,02$. Предприятие-изготовитель ориентирует производство на уровень надежности - наработку до отказа 34 ч.

а) Партия годная.

б) Партия не годная.

в) Требуются дополнительные испытания.

г) Необходимо увеличить наработку.

12. Проведена серия испытаний партии изделий, при которых контролировался параметр Y . Установлено, что он распределен по нормальному закону с математическим ожиданием, равным 100 единицам. Фактические значения параметра Y при испытаниях были зафиксированы в пределах от 82 до 118 единиц. Найти вероятность того, что параметр изделия, принадлежащего этой партии, будет больше 105 единиц.

а) 0,0823.

б) 0,0863.

г) 0,0933.

д) 0,0983.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Требуется разработать план контрольных испытаний, т. е. определить c и n , партии изделий в объеме 1000 единиц, если при наработке до отказа $t_0 = 200$ ч нормальный уровень вероятности отказа изделия $Q_0(t_0 = 200 \text{ ч}) = 0,03$, максимально допустимый уровень - $Q_{01}(t_0 = 200 \text{ ч}) = 0,1$. Риски изготовителя $\alpha = 0,1$ и заказчика $\beta = 0,2$.

2. Составить план контрольных испытаний при следующих условиях: контролируемые уровни средней наработки $T_0 = 150$ ч, $T_{01} = 120$ ч; риски изготовителя и заказчика $\alpha = \beta = 0,1$. Известно, что распределение наработки нормальное.

3. Найти параметры плана $[n, U, T]$ при заданных значениях относительной погрешности $\varepsilon_0 = 0,10$, уровней значимости $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$. Путем сопоставления с аналогами испытываемого изделия определено $T_{вж} = 100$ ч.

4. Найти параметры плана $[n, U, n]$ при заданных значениях относительной погрешности $\varepsilon_0 = 0,1$ и доверительной вероятности $\gamma = 0,80$, в предположении, что наработка до отказа распределена нормально с коэффициентом вариации $v = 0,4$.

5. Найти параметры плана $[n, U, T]$ при заданных значениях относительной погрешности $\varepsilon_0 = 0,10$, уровней значимости $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,025$ (доверительной вероятности $y = 0,95$) при ожидаемом значении коэффициента вариации $v = 0,2$, если $T_{вж} = 100$ ч.

6. Вычислить точечную и интервальную оценки интенсивности отказов λ по результатам $n = 10$ испытаний, проведенных по плану $[10, U, T = 100]$, при этом наработки до отказа $r = 2$ изделий составили 86 и 92. Доверительная вероятность $\gamma = 0,9$.

7. Вычислить точечную и интервальную оценки интенсивности отказов λ по результатам $n=10$ испытаний, проведенных по плану $[10, U, T=100]$, при этом наработки до отказа $r = 2$ изделий составили 86 и 92. Доверительная вероятность $\gamma = 0,9$.

8. Для контроля надежности партии $N = 450$ невосстанавливаемых изделий заданы два уровня вероятности безотказной работы, соответствующие наработке $t = 20$ ч: приемочный уровень $P_0(t)=0,99$ и браковочный уровень - $P_0(t)=0,90$, риски изготовителя и заказчика $\alpha=0,05$ и $\beta=0,1$. Определить план контроля по методу однократной выборки.

9. Необходимо провести испытания партии изделий с требуемым уровнем надежности: наработкой до отказа не менее 30 ч и средним квадратическим отклонением 2,5 ч. Риск изготовителя $\alpha = 0,03$, риск заказчика $\beta = 0,02$. Предприятие-изготовитель ориентирует производство на уровень надежности - наработку до отказа 34 ч.

10. При проведении серии испытаний двигателя установлено, что средняя наработка до отказа составляет 1000 ч. При каком значении t вероятность отказа не будет превышать 0,01.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Найти вероятность того, что агрегат откажет в интервале $(0, 140)$ ч, если вероятность отказа агрегата на эксплуатационном режиме распределена по экспоненциальному закону $f(t)=0,0005e^{-0,0005t}$ при $t \geq 0$.

2. Требуется оценить вероятность отсутствия внезапных отказов агрегата $P(t)$ в течение $t=10000$ ч, если интенсивность отказов $\lambda = 10^{-7}$ ч⁻¹.

3. При обработке некоторого элемента установлена средняя наработка до отказа $T_{cp}=2 \times 10^8$ с. Определить вероятность безотказной работы элемента в интервале времени до 10^7 с.

4. Оценить вероятность безотказной работы энергетической установки в течение $t=1,5 \times 10^4$ ч, если ее рабочий ресурс подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $T_{cp}=4,6 \times 10^4$ ч и $\sigma_1 = 10^4$ ч.

5. Оценить 80% ресурс $t_{\gamma=0,8}$ двигателя, если известно, что его работоспособность ограничена по износу, ресурс подчиняется нормальному распределению с параметрами $T_{cp}=10^4$ ч и $\sigma_1=6 \cdot 10^3$ ч.

6. При испытании агрегата установлено, что наработка на отказ T распределена по нормальному закону с параметрами $T_{cp}=12$ ч и $\sigma_1=0,8$ ч. Найти вероятность безотказной работы агрегата в пределах не более $t = 10$ ч.

7. Для повышения надежности системы регулирования прибор с надежностью $P(t)=0,90$ дублируется другими такими же постоянно подключенными приборами. Сколько нужно подключить приборов, чтобы надежность системы регулирования была не ниже $P_w = 0,995$.

8. Техническим заданием на газогенератор установлены предельные значения давления в его камере сгорания от 4,2 до 4,5 МПа.

При испытании двух альтернативных вариантов конструкции газогенератора получены следующие значения давления в камере сгорания:

- для первого варианта $P_{1min} = 3,82$ МПа, $P_{1max} = 4,36$ МПа;
- для второго варианта $P_{2min} = 3,90$ МПа, $P_{2max} = 4,32$ МПа

Сравнить надежность испытанных конструкций газогенератора.

9. При проведении испытаний агрегата измерялось время наработки агрегата до отказа. Распределение случайной величины наработки до отката подчинено нормальному закону со средним квадратическим отклонением $\sigma=20$ мин. Найти вероятность того, что агрегат откажет не ранее чем через 10 мин после истечения среднего времени, полученного при испытании.

10. Двигатель состоит из n равнонадежных элементов с надежностью каждого p , m из которых продублированы (имеют по одному резервному элементу каждый). Выход из строя любого из $(n - m)$ элементов приводит к отказу двигателя. Определить надежность всего двигателя.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Определение термина надежность?
2. Определение термина испытание?
3. Поясните термины стендовые, полигонные и эксплуатационные испытания?
4. Поясните термин программа испытаний?
5. Определение натуральных и ресурсных испытаний?
6. Определение холодных испытаний?
7. Гидравлические и пневматические испытания?
8. Что означает термин испытания на функционирование?
9. Что означает термин испытания на динамические воздействия?
10. Что означает термин специальные испытания?
11. Огневые испытания?
12. Структура наземных огневых испытаний?
13. Исследовательские, конструкторские и совместные испытания?
14. Поясните обозначение МВИ, КТИ, КВИ, СПИ?
15. Определение объекта в теории надежности?
16. Определение изделия, элемента, системы в теории надежности, и их принципиальные различия?
17. Невосстанавливаемый объект, восстанавливаемый объект, обслуживаемый объект, ремонтируемый объект?
18. Абсолютное и относительное изменение качества объекта?
19. Исправное и неисправное состояние объекта?
20. Работоспособное, неработоспособное и предельное состояние объекта?
21. Понятия повреждение и отказ?
22. Классификация признаков отказа?
23. Безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость?
24. План испытаний?
25. Точность, надежность и стабильность технологического процесса?
26. Что такое измерительный прибор и измерительная система?
27. Определение термина измерения?
28. Погрешность измерения?
29. Абсолютная и относительная погрешности?

30. Систематическая и случайная погрешности?
31. Грубая погрешность?
32. Экспериментальная оценка надежности?
33. Определительные и контрольные испытания?

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса, одну стандартную и одну прикладную задачу. Каждый пункт в билете оценивается 12 баллами. Максимальное количество набранных баллов – 48.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 12 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 12 до 30 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 31 до 41 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 42 до 48 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	РАЗДЕЛ 1. Введение в надежность ракетно-космической техники. Общие сведения об испытаниях ЖРД.	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ.
2	РАЗДЕЛ 2. Основы организации испытаний. Обработка результатов испытаний	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
3	РАЗДЕЛ 3. Определительные испытания. Контрольные испытания.	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
4	РАЗДЕЛ 4. Ускоренные испытания на надежность.	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
5	РАЗДЕЛ 5. Надежность невосстанавливаемых элементов и систем	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
6	РАЗДЕЛ 6. Надежность ЖРД. Прогнозирование и методы повышения надежности	ПК-5, ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 40 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 40 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Коломенцев А.И., Краев М.В., Назаров В.П. Испытание и обеспечение надежности ракетных двигателей: Учебник. Красноярск: Сиб ГАУ, 2006.-336 с.

2. Жуковский А.Е., Кондрусев В.С., Окорочков В.В. Испытания жидкостных ракетных двигателей. 8-е изд. М. Машиностроение», 1992-352с.

3. Проничев Н.Д., Шулепов А.П. Технологические методы обеспечения надежности двигателей летательных аппаратов. Минобрнауки России, Самара. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. – Самара, 2011.

4. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере Под редакцией В.Э. Фигурнова. Учебное пособие. М. Изд. 3-е. 2003.-384с.

5. Афанасьев А.А., Кружаев К.В., Шматов Д.П. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения. ФГБОУ ВО ВГТУ. Воронеж: 2017. – 2,5 уч.-изд.л.

6. Афанасьев А.А., Демьяненко Ю.В., Кружаев К.В. Методические указания к выполнению практических и самостоятельных работ по дисциплине «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» для

студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения. ФГБОУ ВО ВГТУ. Воронеж: 2017. – 3,2 уч.-изд.л.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
3. NX Academic
4. 7 zip
5. Google Chrome
6. LibreOffice
7. Mozilla Firefox
8. Компас-3D
9. OpenOffice
10. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал ВГТУ
11. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
12. elibrary.ru
13. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
14. www.iprbookshop.ru – электронная библиотека

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Аудитория № 153 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованная специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя, оборудованная мультимедиа-проектором и экраном, для проведения лекционных и практических занятий.

Аудитории № 154, № 149 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованные специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя для проведения лекционных и практических занятий.

Специализированная аудитория, оснащенная персональными компьютерами и специальным программным обеспечением для лабораторных работ - учебная аудитория № 134 (ул. Ворошилова, 20, 7 эт.), укомплектованная специализированной мебелью и оборудованная техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Специализированные испытательные стенды:

- стенда № 4 гидрогазодинамических испытаний

деталей и сборочных единиц, и агрегатов ЖРД отдела 118 АО КБХА;
- стенд №1 гидродинамических испытаний деталей и сборочных единиц и агрегатов ЖРД отдела 118 АО КБХА.

- стенд ВГТУ.ФЦП-001.00.00 для проведения газодинамических испытаний.

Средства обеспечения освоения дисциплины:

- Видеофильмы по аварийным запускам ракеты- носителя Н1, испытаниям двигателей на огневых стендах базового предприятия
- Программное обеспечение для статистической обработки данных;
- Приборы для технических измерений;
- Атлас конструкций агрегатов и элементов САР базового предприятия;
- Компьютерная программа регистрации и обработки результатов испытаний.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Испытания и надежность жидкостных ракетных двигателей» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета по определению погрешностей и вероятности безотказной работы ЖРД. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом

занятие	лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.