


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

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских
«21» февраля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Испытательные стенды 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 2023

Автор программы



/ К.В. Кружаев /

Заведующий кафедрой
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

- обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области практического применения основных идей и методов проведения испытаний ЖРД.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- освоить особенности возникновения отказов и их последствий;
- 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 «Испытательные стенды 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 «Испытательные стенды 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

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.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Испытательные стенды 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 надежность ракетно-космической техники. Общие сведения об испытаниях ЖРД.	Лекция 1. Общее представление о 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	4	2	6	10	22
2	РАЗДЕЛ 2. Основы организации 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.	4	2	6	10	22
3	РАЗДЕЛ 3. Обработка результатов 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	4	2	6	10	22

		оценивание генеральных характеристик. Типовой перечень измерений параметров ЖРД на огневом стенде и в летных испытаниях.						
4	РАЗДЕЛ 4. Определительные испытания	4. 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.	2	4	6	10	22	
5	РАЗДЕЛ 5. Контрольные испытания.	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.	2	4	6	12	24	
6	РАЗДЕЛ 6. Ускоренные испытания на надежность.	Лекции 11-12. Показатели и виды ускоренных испытаний. Построение 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. Самостоятельное изучение: Обработка результатов испытаний. Зависимости, используемые для расчета общей надежности двигателя по составляющим оценкам надежности его агрегатов (систем).	2	4	6	11	23	
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 основных агрегатов ДУ с ЖРД.	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами определения статических и динамических характеристик 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

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 изготовления.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	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 характеристики 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

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные 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. Во время эксплуатации изделия могут возникать внезапные отказы.

Укажите, на каком периоде?

- период приработки.
- период нормальной эксплуатации.
- период постепенных отказов.

2. Уменьшение сроков получения показателей надежности за счет чего достигается.

- уплотнения рабочих циклов.

б) утяжеленных режимов испытаний.

в) уменьшение количества экспериментальных значений, заменяя их расчетными.

г) интенсификации процессов, вызывающих отказы.

3. Нагрузочный коэффициент зависит от –

а) отношения числа отказов, выявленных после определенного времени работы при повышенных нагрузках, к числу отказов, полученных после того же времени работы при нормальных нагрузках.

б) отношения числа отказов, выявленных после определенного времени работы при нормальных нагрузках, к числу отказов, полученных после того же времени работы при повышенных нагрузках.

в) произведением числа отказов, выявленных после определенного времени работы при повышенных нагрузках, к числу отказов, полученных после того же времени работы при нормальных нагрузках.

г) разницы числа отказов, выявленных после определенного времени работы при повышенных нагрузках, к числу отказов, полученных после того же времени работы при нормальных нагрузках.

4. 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) Требуется дополнительные испытания.

г) Необходимо увеличить наработку.

5. Биноминальный 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) $K = \Delta R / \omega$.

б) $K = (R - \Delta_0) / u_p$.

в) $\Delta_0 = (R_n + R_p) / 2$.

г) $\delta = \Delta x / x$.

7. Имеет преимущество метод усеченной последовательности при контроле либо весьма надежных партий, либо весьма ненадежных, так как:

а) можно достаточно точно и быстро определить условия для принятия решения о приемке партии.

б) можно достаточно быстро определить условия для принятия решения о приемке партии.

в) можно достаточно точно (однако необходимо затратить много времени) определить условия для принятия решения о приемке партии.

8. Коэффициент ускорения равен

а) отношению времени, затраченному на получение требуемой информации о надежности при испытании в условиях, аналогичных нормальным, ко времени, в течение которого эта информация получена.

б) произведению времени в течение, которого эта информация получена, ко времени, затраченному на получение требуемой информации о надежности при испытании в условиях, аналогичных нормальным.

в) сумме времени, затраченного на получение требуемой информации о надежности при испытании в условиях, аналогичных нормальным и времени в течение, которого эта информация получена.

г) отношению времени в течение, которого эта информация получена, ко времени, затраченному на получение требуемой информации о надежности при испытании в условиях, аналогичных нормальным.

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

а) 10.

б) 2.

в) 5.

г) 1.

10. В процессе форсированных испытаний $n=100$ изделий с коэффициентом $K_R=1,5$ в момент времени $\tau=50$ ч было зафиксировано $m=10$ отказов. В нормальных условиях изделие должно работать безотказно в течение $t=150$ ч. Определить нижнюю границу вероятности безотказной работы с доверительной вероятностью $\gamma=0,9$ в форсированном режиме и произвести перерасчет для вероятности безотказной работы в нормальных условиях.

а) 0,6784.

б) 0,7684.

в) 0,8314.

г) 0,8523.

11. 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 $T_{в.жс} = 100$ ч.

а) [16, U, T=108 ч.].

б) [15, U, T=100 ч.].

в) [18, U, T=125 ч.].

г) [7, U, T=96 ч.].

12. Определить вероятность безотказной работы элементов в период нормальной эксплуатации в течение срока средней наработки до отказа $t = T_{ср}$.

а) 37%.

б) 63%.

г) 55%.

д) 70%.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. 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 $\sigma_1=6 \times 10^3$ ч.

- а) 3650.
- б) 4950.
- в) 4650.
- г) 5000.

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

- а) $c = 40 ; n = 1$.
- б) $c = 55 ; n = 40$.
- в) $c = 1 ; n = 35$.
- г) $c = 1 ; n = 40$.

3. Если вероятность отказа агрегата на эксплуатационном режиме распределена по экспоненциальному закону $f(t)=0,0005e^{-0,0005t}$ при $t \geq 0$, найдите среднюю наработку до отказа.

- а) 1000.
- б) 1500.
- в) 2000.
- г) 2500.

4. 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.
- в) 0,0933.
- г) 0,0983.

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

- а) $[10, U, 10]$.
- б) $[14, U, 14]$.
- в) $[16, U, 11]$.
- г) $[12, U, 12]$.

6. При отработке некоторого элемента установлена средняя наработка до отказа $T_{cp}=2 \times 10^6$ с. Определить вероятность безотказной работы элемента в интервале времени до 10^5 с.

- а) 0,9512.
- б) 0,9685.

в) 0,8921.

г) 0,9325.

7. Оценить вероятность безотказной работы энергетической установки в течение $t=3 \times 10^4$ 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.

а) 0,9990.

б) 0,9899.

в) 0,9963.

г) 0,9780.

8. 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.

а) 0,9938.

б) 0,9868.

в) 0,9728.

г) 0,9988.

9. 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. Составьте план контрольных испытаний.

а) $T_{np} = 125$; $n = 19$.

б) $T_{np} = 150$; $n = 40$.

в) $T_{np} = 169$; $n = 39$.

г) $T_{np} = 133$; $n = 33$.

10. Найти параметры плана $[n, U, T]$ при заданных значениях относительной погрешности $\epsilon_0 = 0,10$, уровней значимости $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$. Путем сопоставления с аналогами испытываемого изделия определено $T_{вжс} = 100$ ч.

а) $[10, U, 53]$.

б) $[11, U, 58]$.

в) $[8, U, 43]$.

г) $[10, U, 56]$.

11. 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 $t \geq 0$.

а) 0,0485.

б) 0,0526.

в) 0,0676.

г) 0,0724.

12. 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?

а) 20.

б) 15.

в) 10.

г) 25.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. 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 $\gamma = 0,9$.

- а) $s = 0,00204; \chi^2 = 7,8$.
- б) $s = 0,00214; \chi^2 = 7,8$.
- в) $s = 0,00235; \chi^2 = 8,97$.
- г) $s = 0,00195; \chi^2 = 6,8$.

2. 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) $c = 40; n = 40$.
- б) $c = 30; n = 20$.
- в) $c = 35; n = 1$.
- г) $c = 2; n = 40$.

3. Измерялось время наработки агрегата до отказа, при проведении его испытаний. Распределение случайной величины наработки до отказа 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.

- а) 0,2953.
- б) 0,4000.
- в) 0,3584.
- г) 0,3085.

4. Стержень с поперечным сечением $\emptyset 12 \times 11$ нагружен растягивающим усилием $P=12,0^{+0,5}$ кН. Материал стержня — Ст. 3. Найти вероятность безотказной работы стержня. Принять для Ст. 3 $[\sigma_p] = 11,5 \times 10^7$ Па.

- а) 0,7923.
- б) 0,8000.
- в) 0,8235.
- г) 0,8047.

5. Предельное значение температуры T_{np} для материала, из которого изготовлена турбина энергоустановки, определяющей термическую прочность, находится в интервале 2000...2400 К. При стендовой отработке изделия получены значения температуры T деталей турбины 1900...2100К. Определить достигнутую надежность изделия по термической прочности.

- а) 0,8998.
- б) 0,9689.
- в) 0,9737.
- г) 0,9998.

6. 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 $P_{1\min} = 5,60$ МПа, $P_{2\max} = 6,06$ МПа;
- для второго варианта $P_{1\min} = 4,90$ МПа, $P_{2\max} = 5,51$ МПа.

Сравнить надежность испытанных конструкций газогенератора.

- а) первый вариант конструкции имеет надежность выше.
- б) второй вариант конструкции имеет надежность выше.
- в) оба варианта имеют одинаковую высокую надежность.
- г) оба варианта имеют низкую надежность.

7. Найти вероятность безотказной работы изделия. Для обеспечения безотказной работы изделия необходимо обеспечить пять условий безотказности, вероятности проявлений которых равны $P_1=P_2=0,990$; $P_3=P_4=0,995$; $P_5=0,999$.

- а) 0,9688.
- б) 0,0651.
- в) 0,9988.
- г) 0,0180.

8. Выход из строя каждого блока приводит к выходу из строя прибора в целом. Вероятность безотказной работы каждого блока $P(t) = 0,995$. Прибор состоит из 10 блоков. Какова должна быть надежность блоков, чтобы была обеспечена надежность прибора $P_{np}(t)=0,99$?

- а) 0,9699.
- б) 0,9900.
- в) 0,9991.
- г) 0,9997.

9. Для повышения надежности процесса контроля в системе установлены два прибора, один из которых дублирующий (резервный). Надежность каждого прибора равна 0,95. При выходе из строя первого прибора происходит мгновенное переключение на второй (надежность переключающего устройства равна единице). Определить надежность системы с двумя приборами.

- а) 0,9698.
- б) 0,9786.
- в) 0,9988.
- г) 0,9997.

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

- а) 258.
- б) 295.
- в) 315.
- г) 400.

11. При следующих значениях ВБР найти постоянное значение

интенсивности отказов ДУ в начальный и конечный моменты ее работы:

$$p(t=0) = 1 \text{ и } p(t_p = 513 \text{ с}) = 0,95.$$

а) 10^{-2} с^{-1} .

б) 10^4 с^{-1} .

в) 10^{-4} с^{-1} .

г) 10^2 с^{-1} .

12. Для подтверждения нахождения вероятности безотказной работы $p(t_p) = 0,98$ внутри доверительного интервала $|2\Delta| = 0,05$ при доверительной вероятности $y = 0,95$ найти необходимое число безотказных испытаний ДУ.

а) 30 испытаний.

б) 54 испытания.

в) 60 испытаний.

г) 65 испытания.

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. Специальные испытания. Раскройте данный термин.
2. Надежность. Раскройте данный термин.
3. Наземные огневые испытания ЖРД, что в них входит?
4. Что входит в задачи первичной обработки?
5. Поясните, что такое программа испытаний?
6. Определение термина испытание?
7. Как определить доверительный интервал? Поясните, что такое доверительный интервал.
8. Контрольные испытания. Для чего проводят данные испытания? Приведите примеры.
9. В чем заключается понятие надежности как свойств объекта.
10. Определительные испытания. Поясните термин, приведите примеры.
11. При изменении доверительной вероятности с 0,9 на 0,99, как и во сколько раз изменится количество безотказных испытаний.
12. Определите время развития скоростного отказа в ЖРД.
13. Классификация испытаний (два класса испытаний)?
14. При 500 испытаниях двигателя определите допустимое число отказов для подтверждения уровня ВБР $p(t_p) > 0,99$ при $y = 0,95$.
15. Цели программы испытаний?
16. Какие отказы относят к незачетным отказам? Приведите примеры.
17. Пояснить метод испытаний, основанный на последовательном методе контроля.
18. Холодные испытания. Поясните данный термин.
19. За счет чего на сокращенных испытаниях достигается уменьшение сроков получения показателей надежности?
20. 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.

21. Какие задачи решаются при проведении испытаний ракетных двигателей?
22. Метод усеченной последовательности имеет преимущество при контроле либо весьма надежных партий, либо весьма ненадежных, так как?
23. Какими специфическими особенностями обладают ЖРД как объекты испытаний?
24. При изменении нижней доверительной границы ВБР с 0,9 на 0,95, как и во сколько раз изменится количество безотказных испытаний?
25. Во сколько раз, по сравнению с безотказными испытаниями, возрастет количество испытаний изделия, в ходе которых произойдет один отказ, для подтверждения уровня ВБР $p(tp) > 0,95$ при $y = 0,9$?
26. Коэффициент точности. Что характеризует данный коэффициент?
27. Долговечность. Поясните данный термин, приведите примеры.
28. При каком типе цензурирования имеет место снятие с испытаний некоторых изделий по организационным причинам или в результате отказов их элементов, надежность которых не исследуется?
29. Поясните особенности ресурсных и натуральных испытаний?
30. Что означает термин независимый отказ? Приведите примеры.
31. Какие данные должны быть подтверждены и специально проверены при МВИ?
32. Поясните термины стендовые, полигонные и эксплуатационные испытания?
33. Укажите цели проведения ресурсных испытаний?
34. Дайте определение натурным и ресурсным испытаниям. Приведите примеры.
35. Поясните, что значит испытания на динамические воздействия? Приведите примеры.
36. Гидравлические и пневматические испытания. Поясните термин. Приведите примеры.
37. Поясните термин испытания на функционирование. Приведите примеры.
38. Какие задачи решаются при исследовательских испытаниях?

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	Тест, защита лабораторных работ.
2	РАЗДЕЛ 2. Основы организации испытаний.	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
3	РАЗДЕЛ 3. Обработка результатов испытаний	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
4	РАЗДЕЛ 4. Определительные испытания	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
5	РАЗДЕЛ 5. Контрольные испытания.	ПК-5	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
6	РАЗДЕЛ 6. Ускоренные испытания на надежность.	ПК-5	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

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 «Испытательные стенды 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 по проведению и анализу испытаний 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 занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом 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: <ul style="list-style-type: none"> - 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.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			