

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование жидкостных ракетных двигателей
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	4	144	51	34	0	17	93	0	0	93	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

Михайлов Константин Николаевич, старший преподаватель

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. _____

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-5 — Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-5

знания:

на уровне представлений:

методы оценивания характеристик прочности и динамики узлов РД

на уровне воспроизведения:

основные положения прочности и динамики узлов РД

методы расчета и оценки прочности и динамики узлов РД

на уровне понимания:

приемы и методики оптимизации прочностных характеристик, конструкции, функционирования технических систем

основные положения опытной отработки прочности и динамики узлов РД;;

умения:

теоретические

проводить анализ прочности и динамики узлов РД

практические

на основании расчётов производить оптимизацию узлов РД;;

навыки:

иметь навыки чтения и исполнения конструктивных чертежей, диаграмм, графиков и схем, применяемых при расчётах прочности и динамики узлов РД;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВРД**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-5
4	8	Раздел 1. Введение. Современные требования к обеспечению долговечности и надежности узлов и агрегатов РД.	7	2	2	0	5	10
4	8	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса РД. Нагрузки, действующие на узлы и агрегаты РД. Режимы работы РД. Нагрузки, действующие на оболочки и ротор ТНА.	17	4	4	0	13	20
4	8	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты РД. Элементы теории строительной механики. Безмоментная теория оболочек. Основная теория вращающихся роторов. Осевые и радиальные составляющие газовых сил. Крутящие моменты от газовых сил, приложенные к узлам РД. Основные принципы расчета на прочность агрегатов РД. Оценка результатов. Долговечность узлов РД.	31	11	6	5	20	20
4	8	Раздел 4. Камеры РД. Особенности работы камеры двигателя и условия их нагружения. Расчет оболочек камеры на прочность в упругой и эластической области. Осесимметричные колебания камеры. Поперечно-изогнутые колебания камеры. Термоцикловая и длительная статическая прочность камер. Прочность форсажных камер.	31	11	8	3	20	20
4	8	Раздел 5. Роторы РД. Условия работы элементов ротора и условия их нагружения. Оценка прочности элементов и узлов ротора при действии центробежных, газовых и температурных сил. Нагрузки, действующие на лопатки газовой турбины и компрессора. Колебания лопаток. Долговечность элементов ротора. Понятие о критических режимах ротора. Виды критических режимов. Влияние эксплуатационных факторов на критические режимы ротора. Способы борьбы.	39	19	10	9	20	20
4	8	Раздел 6. Заключение. Перспективные методы повышения прочности, долговечности и надежности узлов РД.	19	4	4	0	15	10
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты РД.	Методика расчета на прочность различных типов оболочек.	5
2	Раздел 4. Камеры РД.	Расчет прочности гладких оболочек РД. Расчет поперечно-изгибных колебаний. Определение долговечности оболочек в условиях термоциклового усталости.	3
3	Раздел 5. Роторы РД.	Прочность дисков газовой турбины. Вибрационная прочность лопаток камеры РД.	5
4		Критические режимы роторов и валов различных схем.	4
Всего за 8 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	5
2	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса РД.	Изучение основной и дополнительной литературы	13
3	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты РД.	Изучение основной и дополнительной литературы	10
4		Подготовка к практическому занятию	10
5		Подготовка к практическому занятию.	10
6	Раздел 4. Камеры РД.	Изучение основной и дополнительной литературы	10

7	Раздел 5. Роторы РД.	Изучение основной и дополнительной литературы	10
8		Подготовка к практическому занятию	10
9	Раздел 6. Заключение.	Изучение основной и дополнительной литературы	15
Всего за 8 семестр			93

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	КПос	КПос	КПос, ВПЗ	КПос	КПос	ДР	КПос, ВПЗ	КПос	КПос	ДР	КПос	КПос, ВПЗ	КПос	КПос	КПос, ВПЗ	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КПос – контроль посещаемости;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. М. Кузьмин, А. И. Мустейкис. . Расчёт напряжённо-деформированного состояния оболочки камеры сгорания ракетного двигателя в среде ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 36 экз.
2. А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.
3. А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 70 экз.
4. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, 100 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru/book/dinamika-mashin-kolebaniya-471944> — Динамика машин. Колебания — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <https://urait.ru/book/prochnost-turbomashin-473021> — Прочность турбомашин — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Интерактивная доска.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-5 Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с прочностью узлов и агрегатов реактивных двигателей. С точки зрения прочности рассматриваются процессы функционирования камер сгорания, роторов, лопаточных машин и других узлов реактивных двигателей.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Введение.		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Характеристика рабочего процесса РД.		
Изучение основной и дополнительной литературы	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (7)	13
Итого по разделу 2		13
Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты РД.		
Изучение основной и дополнительной литературы	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (7)	10
Подготовка к практическому занятию	А. М. Кузьмин, А. И. Мустейкис. . Расчёт напряжённно-деформированного состояния оболочки камеры сгорания ракетного двигателя в среде ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)	10
Итого по разделу 3		20
Раздел 4. Камеры РД.		
Подготовка к практическому занятию.	А. М. Кузьмин, А. И. Мустейкис. . Расчёт напряжённно-деформированного состояния оболочки камеры сгорания ракетного двигателя в среде ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)	10
Изучение основной и дополнительной литературы	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (5)	10
Итого по разделу 4		20
Раздел 5. Роторы РД.		
Изучение основной и дополнительной литературы	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1)	10
Подготовка к практическому занятию		10
Итого по разделу 5		20
Раздел 6. Заключение.		
Изучение основной и	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного	15

дополнительной литературы	двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1)	
Итого по разделу 6		15

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- контроль посещаемости;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы/задания по темам ПЗ

Вопросы содержатся в УМК дисциплины.

Контроль пройден, если в результате устного опроса студент правильно ответил на два из трех вопросов.

Контроль посещаемости

Оценивается посещаемость практических занятий и работа на них.

Экзамен

Экзамен предполагает письменный ответ студента по билетам. Билет включает в себя два вопроса.

Критерии оценки:

"отлично" - полный и точный ответ на 2 вопроса, свободное владение основными терминами и понятиями

курса, последовательное и логичное изложение материала курса, законченные выводы и обобщения по теме вопросов, исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче экзамена.

"хорошо" - полные и точные ответы на 2 вопроса экзаменационного билета, знание основных терминов и понятий курса, последовательное изложение материала курса, умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов, достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена.

"удовлетворительно" - полные и точные ответы на 1 вопрос экзаменационного билета, удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса, удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач, недостаточно последовательное изложение материала курса, умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов.

"неудовлетворительно" - полный и точный ответ на 1 вопроса экзаменационного билета и менее.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-5	
4	8	Раздел 1. Введение.	7	2	2	0	5	10	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
4	8	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса РД.	17	4	4	0	13	20	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
4	8	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты РД.	31	11	6	5	20	20	Контроль посещаемости
4	8	Раздел 4. Камеры РД.	31	11	8	3	20	20	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
4	8	Раздел 5. Роторы РД.	39	19	10	9	20	20	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
4	8	Раздел 6. Заключение.	19	4	4	0	15	10	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	

Оценочные материалы по дисциплине ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД

ПК-5 - Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какое явление возникает, когда частота вращения ротора совпадает с его собственной частотой колебаний?

Варианты ответов:

- 1) Прямая прецессия
- 2) Обратная прецессия
- 3) Критическая частота (резонанс)
- 4) Асинхронная прецессия

- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Опишите основные факторы, воздействующие на рабочие лопатки компрессора ГТД в процессе эксплуатации. Дайте подробную характеристику каждого фактора, объясните их влияние на конструкцию и материалы лопаток.

- № 3 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите этапы расчета ротора на критическую частоту в правильной последовательности (от 1 до 5).

Этапы расчета:

- А. Определение граничных условий закрепления ротора (опоры, заделки и т. д.).
- Б. Анализ результатов и сравнение с рабочей частотой вращения.
- В. Составление дифференциального уравнения движения ротора.
- Г. Расчет собственных частот колебаний из характеристического уравнения.
- Д. Применение метода Рэлея, матричного метода или численного моделирования (например, метод конечных элементов).

- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какая прецессия возникает, если ось ротора вращается в том же направлении, что и сам ротор?

Варианты ответов:

- Прямая прецессия
- Обратная прецессия
- Синхронная прецессия
- Асинхронная прецессия

- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите этапы расчета лопатки газотурбинного двигателя (ГТД) на прочность от воздействия инерционных сил в правильной последовательности (от 1 до 6).

Этапы расчета:

1. Определение угловой скорости вращения ротора и радиуса расположения лопатки.
2. Расчет центробежной силы, действующей на лопатку.
3. Определение геометрических параметров лопатки (масса, центр тяжести, площадь сечения).
4. Построение эпюры напряжений от инерционной нагрузки.
5. Проверка условия прочности по допустимым напряжениям (сравнение с пределом усталости или текучести).
6. Выбор расчетной схемы (консольное закрепление, учет переменного сечения и т. д.).

- № 6 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между видом прецессии ротора и его описанием:

Виды прецессии:

- 1) Прямая прецессия
- 2) Обратная прецессия
- 3) Синхронная прецессия
- 4) Асинхронная прецессия
- 5) Критическая прецессия

А. Прецессия, при которой ротор вращается в направлении, противоположном направлению его собственного вращения.

Б. Прецессия, возникающая при совпадении частоты вращения ротора с его собственной частотой колебаний, что приводит к резонансу.

В. Прецессия, при которой ось ротора описывает конус в том же направлении, что и вращение ротора.

Г. Прецессия, частота которой не совпадает с частотой вращения ротора.

Д. Прецессия, частота которой равна частоте вращения ротора.

Е. Прецессия при которой абсолютная скорость ротора равна нулю

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие последствия может вызвать работа ротора вблизи критической скорости? (Выберите два верных ответа)

Варианты ответов:

- 1) Резонансные колебания
- 2) Увеличение КПД двигателя
- 3) Разрушение ротора из-за усталости
- 4) Снижение температуры газов

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие факторы влияют на величину критической скорости ротора ГТД? (Выберите два верных ответа)

Варианты ответов:

- 1) Жесткость вала
- 2) Цвет окраски лопаток
- 3) Масса ротора
- 4) Температура окружающей среды

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие методы используются для расчета критических скоростей роторов? (Выберите три верных ответа)

Варианты ответов:

- 1) Метод Рэлея
- 2) Метод конечных элементов (FEA)
- 3) Графический метод Мора
- 4) Матричный метод (метод передаточных матриц)

№ 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Перечислите и подробно опишите основные факторы, воздействующие на лопатку турбины ГТД в процессе эксплуатации. Объясните, как каждый из этих факторов влияет на работоспособность и долговечность лопатки.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой метод чаще всего применяется для анализа прецессии роторов ГТД при сложных динамических нагрузках?

Варианты ответов:

- 1) Аналитическое решение уравнений Лагранжа
- 2) Метод Рэлея
- 3) Метод конечных элементов (FEA)
- 4) Графический метод

№ 12 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте величину и единицы ее измерения:

- 1) Напряжения
 - 2) Относительное удлинение
 - 3) Перемещения
 - 4) Сила
- А) %
- Б) МПА
- В) Н
- Г) мм
- Д) В