

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Юнаков Л. П.  
(подпись) ФИО  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ВРД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование технологических процессов производства авиационных, ракетных двигателей и энергетических установок
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	
3	6	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	диф. зач.

*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: 2024

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 ВРД**

### **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:

ПСК-5.3 — способность выполнять расчеты на прочность
--

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-5.3**

*знания:*

Знает нормы прочности;

*умения:*

Умеет выполнять расчеты на прочность;

*навыки:*

Владеть системами автоматизированных инженерных расчётов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

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

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**.

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

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПСК-5.13 — Способен применять системы автоматизированного проектирования (CAD) при решении задач профессиональной деятельности
- ПСК-5.3 — Способен выполнять расчеты на прочность
- ПСК-5.4/24 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям
- ПСК-5.8 — Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) при решении задач профессиональной деятельности

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, % ПСК-5.3
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		
3	6	<b>Раздел 1. Введение.</b> Современные требования к обеспечению долговечности и надежности узлов и агрегатов реактивных двигателей.	4	2	2	0	2	15
3	6	<b>Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.</b> Нагрузки, действующие на узлы и агрегаты ВРД. Режимы работы ВРД. Нагрузки, действующие на оболочки и ротор.	10	4	4	0	6	15
3	6	<b>Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.</b> 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 ВРД. Основные принципы расчета на прочность агрегатов ВРД. Оценка результатов. Долговечность узлов ВРД.	26	16	6	10	10	15
3	6	<b>Раздел 4. Камеры ВРД.</b> 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.	24	14	8	6	10	20
3	6	<b>Раздел 5. Роторы ВРД.</b> 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.	38	28	10	18	10	20
3	6	<b>Раздел 6. Заключение.</b> Перспективные методы повышения прочности, долговечности и надежности узлов ВРД.	6	4	4	0	2	15
<b>Всего за 6 семестр</b>			108	68	34	34	40	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	68	34	34	40	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 ВРД.	Методика расчета на прочность различных типов оболочек.	10
2	Раздел 4. Камеры ВРД.	Расчет прочности гладких оболочек РД. Расчет поперечноизгибных колебаний. Определение долговечности оболочек в условиях термоциклового усталости.	6
3	Раздел 5. Роторы ВРД.	Прочность дисков газовой турбины. Вибрационная прочность лопаток РД.	10
4		Критические режимы роторов и валов различных схем.	8
Всего за 6 семестр			34

#### 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	2
2	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
3	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
4		Подготовка к практическому занятию	4
5	Раздел 4. Камеры ВРД.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	4
6		Подготовка к практическому занятию	6
7		Подготовка к практическому занятию	4
8	Раздел 5. Роторы ВРД.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
9	Раздел 6. Заключение.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	2
<b>Всего за 6 семестр</b>			40

### 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
6				ВРЗД		ДР		ВРЗД		ДР		Отч. по ПЗ				ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 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. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.

### 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/dinamika-mashin-kolebaniya-471944> — Динамика машин. Колебания — 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](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:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; 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 ВРД** 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*:  
ПСК-5.3 способность выполнять расчеты на прочность.

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;
- вопросы по разделу;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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.
<b>Раздел 1. Введение.</b>		
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)	2
Итого по разделу 1		2
<b>Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (10) 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 (1)	6
Итого по разделу 2		6
<b>Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (4) 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 (4)	6
Подготовка к практическому занятию		4
Итого по разделу 3		10
<b>Раздел 4. Камеры ВРД.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	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 (4)	4
Подготовка к практическому занятию		6
Итого по разделу 4		10
<b>Раздел 5. Роторы ВРД.</b>		
Подготовка к практическому занятию	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (10)	4
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (4)	6
Итого по разделу 5		10
<b>Раздел 6. Заключение.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (4) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (12)	2
Итого по разделу 6		2

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- отчет по практическому заданию;
- дифференцированный зачет.

### 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 по разделу

Вопросы по разделу содержатся в УМК дисциплины.

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

#### Отчет по практическому заданию

Отчет по практическому заданию:

Отчёт оформляется по ГОСТ 7.32-2017 и должен содержать подробную последовательность выполняемых действий, анализ полученных результатов. Полученные результаты должны быть сравнены с известными данными, представлено соответствие с существующими теоретическими моделями.

Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на 3 вопроса преподавателя по существу выполненной работы. Отчет считается сданным при правильном ответе более чем на 60 % вопросов. Основаниями для дополнительного снижения оценки могут служить:

- небрежное выполнение отчета,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках);
- некорректная обработка результатов моделирования.

Примерный перечень вопросов представлен в УМК дисциплины.

#### Дифференцированный зачет

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

Критерии оценки:

"зачтено-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 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 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.

"не зачтено" - полный и точный ответ на 1 вопрос билета и менее.

Перечень вопросов к дифференцированному зачету представлен в УМК дисциплины.

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		ПСК-5.3	
3	6	Раздел 1. Введение.	4	2	2	0	2	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.	10	4	4	0	6	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.	26	16	6	10	10	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 4. Камеры ВРД.	24	14	8	6	10	20	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 5. Роторы ВРД.	38	28	10	18	10	20	Вопросы по разделу, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 6. Заключение.	6	4	4	0	2	15	Вопросы по разделу
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-5.3

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Элемент концевой части пера рабочей лопатки компрессора (турбины), предназначенный для снижения напряжений от вибрации и уменьшения перетекания воздуха (газа) называется:
- № 2 Основной нагрузкой, которую, испытывает лопатка турбины является:
- № 3 Как влияет введение упругого элемента в опоры ротора гтд на критическую скорость?
- № 4 От чего зависит критическая скорость ротора?
- № 5 Роторы, работающие на скоростях, меньших, чем критические, принято называть
- № 6 Роторы, работающие на скоростях превышающих критические принято называть
- № 7 Для «жестких» роторов состояние равновесия является
- № 8 Опишите условия протекания прямой прецессии
- № 9 Опишите условия протекания обратной прецессии
- № 10 Опишите условия протекания синхронной прецессии

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Какой параметр является основным при определении прочности узлов воздушно-реактивных двигателей?

- a) Напряжение
- b) Температура окружающей среды
- c) Скорость вращения
- d) Масса двигателя

- № 2 Что такое критическая скорость ротора?

- a) Максимальная скорость, которую может развить ротор
- b) Скорость, при которой возникают резонансные колебания ротора
- c) Скорость, при которой ротор перестает вращаться
- d) Скорость, при которой ротор начинает вибрировать

- № 3 Какие факторы могут влиять на критическую скорость ротора?

- a) Масса ротора
- b) Длина ротора
- c) Жесткость и геометрия ротора
- d) Все вышеперечисленное

- № 4 Сопоставьте величину и единицы ее измерения:

- Напряжения
- Относительное удлинение
- Перемещения
- Сила

- A) %
- B) МПА
- C) Н
- D) мм

- № 5 Сопоставьте показатель надежности с его описанием:

- MTBF (Mean Time Between Failures)
- MTTR (Mean Time To Repair)
- Availability
- Failure Rate

- A) Среднее время между отказами, показывающее среднюю продолжительность безотказной работы
- B) Среднее время на восстановление после отказа
- C) Вероятность, что система будет работать в заданное время
- D) Частота отказов в единицу времени

- № 6 Какие меры предпринимаются для предотвращения работы на критической скорости ротора?

- a) Установка ограничителей скорости
- b) Проход критической скорости с большим ускорением
- c) Увеличение длины ротора

d) Установка дополнительных лопаток на роторе

№ 7

Выберите зависимость, определяющую величину нормального напряжения, действующего в сечениях стержня при относительной деформации  $\epsilon$  и модуле упругости  $E$

$\epsilon * E$

$E / \epsilon$

$\epsilon / E$

№ 8 Выберите зависимость, определяющую величину деформации стержня длиной  $l$  с площадью поперечного сечения  $F$  и модулем упругости  $E$ , под действием нормальной силы  $P$

$(P * l) / (E * F)$

$(E * F) / (P * l)$

$(E * P) / (l * F)$

№ 9 Выберите зависимость, определяющую величину нормального напряжения, действующего в сечении стержня площадью  $F$  под действием нормальной силы  $N$

$N / F$

$F / N$

$F * N$

$((F * N)^2) / 2$

№ 10 Изгибающие моменты от газодинамических сил определяются:

Статическими давлением

Распределением температуры по высоте лопатки

Треугольниками скоростей