


УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета


(подпись) Юнаков Л. П.
ФИО
« 31 » 05 2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ВРД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных 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	
4	7	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	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: 2022

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ

Михайлов Константин Николаевич, ассистент



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-1.1 — способность разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
ПСК-1.3 — способность выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1.1

знания:

Знание комплекса стандартов устанавливающих взаимосвязанные правила, требования и нормы по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия;

умения:

Умение создавать 3Д модели узлов и деталей ассоциированных со спецификацией;

навыки:

Навык выполнения чертежей деталей и сборочных единиц узлов двигателей и стендового оборудования.

ПСК-1.3

знания:

Знает нормы прочности;

умения:

Умение грамотно проводить расчеты методом конечных элементов с учетом физики процессов и допущений;

навыки:

Навык аналитического расчета напряжений и собственных частот (формулы 1D стержневые и оболочечные) деталей ГТД

Навык расчета напряжений и собственных частот деталей ГТД методом конечных элементов.

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: **ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВРД**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.10 — Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.11 — Владеет CAM системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.3 — Способен выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов
- ПСК-1.6 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям

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, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.1	ПСК-1.3
4	7	Раздел 1. Введение. Современные требования к обеспечению долговечности и надежности узлов и агрегатов реактивных двигателей.	4	2	2	0	2	10	10
4	7	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД. Нагрузки, действующие на узлы и агрегаты ВРД. Режимы работы ВРД. Нагрузки, действующие на оболочки и ротор.	10	4	4	0	6	15	15
4	7	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД. 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	20	20
4	7	Раздел 4. Камеры ВРД. 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	15	15
4	7	Раздел 5. Роторы ВРД. 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.	38	28	10	18	10	30	30
4	7	Раздел 6. Заключение. Перспективные методы повышения прочности, долговечности и надежности узлов ВРД.	6	4	4	0	2	10	10
Всего за 7 семестр			108	68	34	34	40	100	100
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	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 7 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	Раздел 5. Роторы ВРД.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	6
8		Подготовка к практическому занятию	4
9	Раздел 6. Заключение.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	2
Всего за 7 семестр			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
7				ВРЗД		ДР		ВРЗД		ДР		Отч. по ПЗ				ДР	

Условные обозначения:

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

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:

- 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. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
4. 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 - 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-1.1 способность разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования;

ПСК-1.3 способность выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов.

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:

- экзамен.

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.
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)	2
Итого по разделу 1		2
Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.		
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 (1) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (10)	6
Итого по разделу 2		6
Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.		
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 (3)	6
Подготовка к практическому занятию		4
Итого по разделу 3		10
Раздел 4. Камеры ВРД.		
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
Раздел 5. Роторы ВРД.		
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. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (4)	6
Подготовка к практическому занятию		4

заниятию		
Итого по разделу 5		10
Раздел 6. Заключение.		
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 (12) А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (4)	2
Итого по разделу 6		2

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

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 вопрос экзаменационного билета и менее.

Перечень вопросов к экзамену представлен в УМК дисциплины.

Паспорт фонда оценочных средств

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-1.1	ПСК-1.3	
4	7	Раздел 1. Введение.	4	2	2	0	2	10	10	Вопросы по разделу
4	7	Раздел 2. Характеристика рабочего процесса ВРД.	10	4	4	0	6	15	15	Вопросы по разделу
4	7	Раздел 3. Силы и моменты, действующие на агрегаты ВРД.	26	16	6	10	10	20	20	Вопросы по разделу, Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 4. Камеры ВРД.	24	14	8	6	10	15	15	Вопросы по разделу
4	7	Раздел 5. Роторы ВРД.	38	28	10	18	10	30	30	Вопросы по разделу, Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 6. Заключение.	6	4	4	0	2	10	10	Вопросы по разделу
Всего за 7 семестр			108	68	34	34	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100	