

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(подпись) Юнаков Л. П.
ФИО
«___» _____ 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: 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 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:

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

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-5

знания:

Знает основные принципы нагружения узлов реактивных двигателей;

умения:

Умение описать характерные случаи нагружения узлов реактивных двигателей;

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: **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:

- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач
- ПСК-1 — Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы

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		ПСК-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	15
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	15
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	30
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	Раздел 4. Камеры РД.	Подготовка к практическому занятию.	10
6		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*:

ПСК-5 способность 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 напряжённо-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.	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (5)	10
Изучение основной и дополнительной литературы	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)	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 дополнительной литературы	А. Я. Соляр. . Прочность элементов жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1)	15
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 вопрос 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		ПСК-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	15	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	15	Контроль посещаемости, Вопросы/ задания по темам ПЗ
4	8	Раздел 5. Роторы РД.	39	19	10	9	20	30	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	

Критерии оценивания

ПСК-5

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 ϵ и модуле упругости E

$\epsilon \cdot E$

E/ϵ

ϵ/E

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

$(P \cdot l)/(E \cdot F)$

$(E \cdot F)/(P \cdot l)$

$(E \cdot P)/(l \cdot F)$

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

N/F

F/N

$F \cdot N$

$((F \cdot N)^2)/2$

№ 10 Изгибающие моменты от газодинамических сил определяются:

Статическими давлением

Распределением температуры по высоте лопатки

Треугольниками скоростей