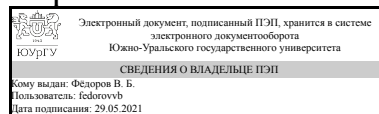


УТВЕРЖДАЮ:
Декан факультета
Аэрокосмический



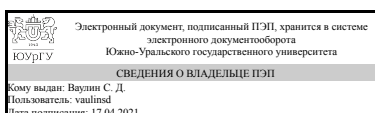
В. Б. Фёдоров

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины Б.1.24 Термодинамика и теплопередача
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
уровень специалист тип программы Специалитет
специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей
форма обучения очная
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

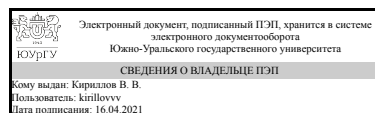
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 16.02.2017 № 141

Зав.кафедрой разработчика,
д.техн.н., проф.



С. Д. Ваулин

Разработчик программы,
д.техн.н., доц., профессор



В. В. Кириллов

1. Цели и задачи дисциплины

Представление обучающимся знаний о законах термодинамики, тепловых свойствах рабочих тел, закономерностях протекания термодинамических процессов, основных видах и закономерностях процессов теплообмена, являющихся базовыми при изучении специальных дисциплин и дисциплин специализации.

Краткое содержание дисциплины

Термодинамика представляет собой науку о закономерностях преобразования энергии. Термодинамика позволяет определить возможность и направленность протекания различных физико-химических процессов. Теплопередача изучает механизмы переноса тепла в различных процессах в науке и технике и является теоретической основой проектирования теплообменных аппаратов различного назначения.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПСК-3.4 способностью разрабатывать эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей жидкостных ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты в составе жидкостных ракетных двигательных установок	Знать: основные физические положения, законы механики, термодинамики и теплопередачи, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях;
	Уметь: применять методы термодинамики и теплопередачи при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях
	Владеть: навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.06 Физика, Б.1.05.02 Математический анализ	ДВ.1.09.01 Моделирование процессов жидкостных ракетных двигателей, ДВ.1.09.02 Моделирование теплофизических процессов, Б.1.39 Конструирование жидкостных ракетных двигателей, ДВ.1.05.01 Проектирование тепломассообменных аппаратов

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.05.02 Математический анализ	знать: основные законы и методы математики; уметь: применять математические методы в

	проектировании; владеть: математическими методами анализа
Б.1.06 Физика	знать: основные физические законы, уметь: применять физико-математические методы; владеть: навыками разработки на базе физических законов

4. Объём и виды учебной работы

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

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		4	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	16	16	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	80	80	
подготовка к экзамену	15	15	
изучение конспекта лекций и рекомендованной литературы	65	65	
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Термодинамика	18	10	6	2
2	Теплопроводность	8	4	4	0
3	Конвективный теплообмен	30	12	4	14
4	Теплообмен излучением	8	6	2	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Основные понятия и определения термодинамики. Параметры состояния, координаты состояния, потенциал взаимодействия. Виды термодинамических систем. Уравнение состояния совершенного газа. Теплоёмкость, теплота, работа. Внутренняя энергия.	2
2	1	Первый закон термодинамики для закрытой и открытой систем. Энтальпия. Понятие о термодинамическом процессе. Второй закон термодинамики. Интеграл Клаузиуса. Энтропия. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.	2
3	1	Смеси совершенных газов. Процессы совершенных газов.	2

4	1	Циклы воздушно реактивных и ракетных двигателей	2
5	1	Основные положения термодинамики систем с переменным количеством рабочего тела	2
6	2	Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Стационарная теплопроводность пластины	2
7	2	Стационарная теплопроводность цилиндрических и шаровых стенок. Тепловая защита.	2
8	3	Конвекция. Виды конвекции. Пограничный слой. Уравнения пограничного слоя.	2
9	3	Критерии подобия конвективного теплообмена. Теорема подобия Кирпичёва-Гухмана	2
10	3	Теплообмен при высокоскоростном продольном обтекании поверхностей летательных аппаратов	2
11	3	Конвективный теплообмен в каналах охлаждения камер сгорания и сопел ЖРД	2
12	3	Конвективный теплообмен при свободной конвекции в полостях ракет	2
13	3	Конвективный теплообмен при кипении криогенных компонентов топлива	2
14	4	Виды лучистых тепловых потоков. Законы теплового излучения	2
15	4	Теплообмен излучением в системе плоско-параллельных тел. Теплообмен тела с оболочкой.	2
16	4	Защита от теплового излучения. Основные понятия теплообмена излучением в поглощающей и рассеивающей среде.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Параметры состояния, уравнение состояния совершенного газа. Процессы в газах.	2
2	1	Процессы в смесях газов с переменной теплоёмкостью	2
3	1	Циклы воздушно-реактивных и ракетных двигателей	2
4	2	Теплопроводность плоской стенки, цилиндра	2
5	2	Теплопроводность цилиндрической и шаровой стенок	2
6	3	Теплообмен при продольном высокоскоростном обтекании поверхностей ЛА	2
7	3	Теплообмен при течении в каналах охлаждения ЖРД	2
8	4	Лучистый теплообмен	2

5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Истечение газа из баллона	2
2	3	Изучение теплообмена в пластинчатом теплообменнике	2
3	3	Изучение теплообмена в прямоточном теплообменнике	2
4	3	Изучение теплообмена в прямоточном теплообменнике	2
5	3	Изучение теплообмена в противоточном теплообменнике	2
6	3	Изучение теплообмена в противоточном теплообменнике	2
7	3	Изучение теплообмена в дисковом теплообменнике	2
8	3	Изучение теплообмена в теплообменнике "труба в трубе"	2

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Лучистый теплообмен в системе плоско-параллельных тел	[4-6] Теплообмен излучением	6
Молекулярно-кинетическая теория теплоёмкости. Теплота, работа, функции состояния. Первый закон термодинамики	[1-3] Первый закон термодинамики	4
Лучистый теплообмен тела с оболочкой	[4-6] Теплообмен излучением	6
Единицы измерения параметров состояния	[1-3] Понятия и определения	2
Циклы воздушно-реактивных и ракетных двигателей	[1-3] Газовые циклы	4
Определение коэффициента теплоотдачи при продольном высокоскоростном обтекании поверхностей ЛА	[4-6] Конвективный теплообмен в однофазной среде	6
Виды лучистых потоков	[4-6] Теплообмен излучением	4
Стационарная теплопроводность пластины, цилиндра, шара	[4-6] Теплопроводность при стационарном режиме	5
Процессы в газах	[1-3] Газовые процессы совершенных газов	4
Определение коэффициента теплоотдачи при кипении	[4-6] Теплообмен при кипении	6
Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции	[4-6] Конвективный теплообмен при свободной конвекции	6
Смеси совершенных газов. Вычисление газовой постоянной, теплоёмкости, энтальпии. Закон Дальтона	[1-3] Смеси совершенных газов	2
подготовка к экзамену	конспект лекций, литература [1-6]	15
Определение коэффициентов теплоотдачи при течении в каналах охлаждения ЖРД	[4-6] Конвективный теплообмен в однофазной среде	6
Второй закон термодинамики. Цикл Карно. Энтропия и термодинамическая вероятность	[1-3] Второй закон термодинамики	4

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
представление лекций в виде презентаций	Лекции	демонстрация графиков, схем, таблиц, формул	32

Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ПСК-3.4 способностью разрабатывать эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей жидкостных ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты в составе жидкостных ракетных двигательных установок	промежуточная аттестация	1-53
Все разделы	ПСК-3.4 способностью разрабатывать эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей жидкостных ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты в составе жидкостных ракетных двигательных установок	текущий	1-30

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
промежуточная аттестация	Промежуточная аттестация проводится три раза - в конце изучения разделов курса - термодинамики, теплопроводности, конвективного теплообмена и излучения. В ходе аттестации студент отвечает письменно на вопросы из списка в течении двух академических часов. К аттестации допускаются студенты, правильно решившие задачи данного раздела курса. Правильный ответ на 91...100 % вопросов - 5 баллов, 71...90 % вопросов - 4 балла, 51...70 % - 3 балла, 41...50 - 2 балла, 21...40 % - 1 балл, менее 20 % - 0 баллов.	Зачтено: рейтинг больше или равен 60 % Не зачтено: рейтинг менее 60 %
текущий	Текущий контроль проводится в форме проверки правильности решения задач данного раздела из списка задач. При оценивании результатов используется балльно-рейтинговая система оценивания (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. №179). Решение 100 % задач - 3 балла, решение 60 % задач - 2 балла, решение 40 % задач - 1 балл, решение менее 40 % задач - 0 баллов. Максимальное количество баллов - 3. Весовой коэффициент мероприятия 0,1.	Зачтено: рейтинг больше или равен 60% Не зачтено: рейтинг менее 60 %

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
промежуточная аттестация	1. Параметры состояния, координаты состояния, функции состояния, уравнение состояния. 2. Теплоёмкость. Виды теплоёмкости.

3. Свойства работы как формы обмена энергией, p - v диаграмма.
4. Свойства теплоты как формы обмена энергией, T - s диаграмма.
5. Первый закон термодинамики.
6. Уравнение первого закона термодинамики для открытой системы.
7. Что такое термодинамический процесс?
8. Прямой и обратный циклы. Источник работы в прямом цикле.
9. Цикл Карно.
10. Второй закон термодинамики. Принцип существования энтропии. Принцип возрастания энтропии.
11. Объединённое уравнение 1-го и 2-го законов термодинамики.
12. Что такое обратимый и необратимый процессы.
13. Что называется газовой смесью? Как задаётся состав газовой смеси?
14. Что такое закон Дальтона?
15. Теплоёмкость, энтальпия, внутренняя энергия газовой смеси.
16. Термодинамические процессы, изображения в p - v и T - s диаграммах.
17. Цикл ТРД со сгоранием топлива при постоянном давлении.
18. Цикл ТРД с регенерацией.
19. Третий закон термодинамики.
20. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности, тепловой поток, градиент температуры.
21. Условия однозначности.
22. Граничные условия.
23. Теплопроводность плоской стенки с граничными условиями III-го рода.
24. Теплопроводность цилиндрической стенки с граничными условиями III-го рода.
25. Критический диаметр тепловой изоляции.
26. Что такое коэффициент теплопередачи?
27. Теплопроводность стержня постоянного сечения.
28. Что такое конвективный теплообмен? Виды конвекции.
29. Формула Ньютона.
30. Как развивается свободная конвекция?
31. Критерии подобия конвективного теплообмена и их физический смысл.
32. Условия подобия физических процессов. Критериальные уравнения.
33. Динамический пограничный слой.
34. Тепловой пограничный слой.
35. Конвективный теплообмен при продольном вынужденном обтекании плоской поверхности.
36. Вязкостный режим теплообмена в трубах.
37. Вязкостно-гравитационный режим теплообмена в трубах.
38. Конвективный теплообмен при турбулентном течении в трубах.
39. Теплообмен при поперечном обтекании цилиндра.
40. Теплообмен при свободной конвекции в большом объёме.
41. Теплообмен при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
42. Теплообмен при кипении в большом объёме.
43. Теплообмен при кипении в трубах.
44. Что такое массовое (расходное) паросодержание?
- 45.3. Что такое объёмное паросодержание?
46. Теплообмен при конденсации на вертикальной стенке.
47. Виды лучистых потоков.
48. Что такое абсолютно чёрное, абсолютно белое, диатермичное и серое тела?
49. Законы Планка, Стефана-Больцмана. Кирхгофа
50. Что такое степень черноты?
51. Лучистый теплообмен в системе плоско-параллельных тел.
52. Лучистый теплообмен тела с оболочкой.
53. Лучистый теплообмен с экраном.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика Текст учебник для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 494 с. ил.
2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 416 с. ил.
3. Крутов, В. И. Техническая термодинамика Учеб. для машиностроит. спец. вузов Под ред. В. И. Крутова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1991. - 382,[2] с. ил.
4. Исаченко, В. П. Теплопередача Учебник для теплоэнерг. спец. втузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. - 417 с. ил.
5. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика Учеб. пособие для втузов В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. - 4-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2005. - 260,[1] с. ил.
6. Исаев, С. И. Термодинамика Учеб. для машиностроит. специальностей техн. ун-тов и вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 412,[1] с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Сборник задач по технической термодинамике Учеб. пособие для студентов вузов по направлениям "Теплоэнергетика" и "Техническая физика" Т. Н. Андрианова, Б. В. Дзампов, В. Н. Зубарев и др. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2000. - 351,[3] с.
2. Юдаев, Б. Н. Теплопередача Учебник для машиностроит. спец. втузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1981. - 319 с. ил.
3. Юдаев, Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача Учеб. для неэнерг. спец. втузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 478 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Теплоэнергетика

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Кириллов, В.В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен / В.В. Кириллов.—Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2008.—69 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

2. Кириллов, В.В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен / В.В. Кириллов.—Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2008.—69 с.

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Дополнительная литература	Арутюнов В.А. Теплофизика и теплотехника: Теплофизика: Курс лекций	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Свободный
2	Основная литература	Новиков, И.И. Термодинамика [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/286 . — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
3	Дополнительная литература	Цветков, О.Б. Термодинамика. Теплопередача [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2013. — 54 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71120 . — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лабораторные занятия	101 (2)	лабораторные установки
Лекции	306 (2)	компьютерная техника
Практические занятия и семинары	306 (2)	компьютерная техника