

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Институт (факультет) Институт авиации, наземного транспорта и энергетики
Кафедра Реактивных двигателей и энергетических установок

АННОТАЦИЯ

к рабочей программе

«Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях»

Индекс по учебному плану: **Б1.В.08**

Направление подготовки: **24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»**

Квалификация: **инженер**

Специализация: **«Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», «Проектирование систем охлаждения и устройств тепловой защиты в авиационных и ракетных двигателях»**

Вид(ы) профессиональной деятельности: **проектно- конструкторская,**
научно –исследовательская

Разработчик: старший преподаватель кафедры «РДЭУ» О.А. Тихонов

Казань 2017 г.

РАЗДЕЛ 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1 Цель изучения дисциплины (модуля)

Учебная дисциплина направлена на изучение свойств топлив, применяемых в двигателях летательных аппаратов и энергоустановок на их основе; на освоение методов теплового расчета двигателей и энергоустановок, включающих определение параметров горения химических топлив и последующего течения продуктов сгорания в каналах сложных форм.

1.2 Задачи дисциплины (модуля)

Основные задачи дисциплины:

- изучить энергетические и механические свойства топлив и основные требования, предъявляемых к ним для различных двигателей летательных аппаратов;

- уметь целесообразно производить выбор топлива и соотношение его компонентов в зависимости от назначения летательного аппарата;

- изучить модели и методы расчета равновесных параметров и свойств высокотемпературных гомогенных и гетерогенных систем, равновесных и неравновесных процессов течения реагирующих многокомпонентных смесей;

- изучить зависимости термодинамических и теплофизических свойств от различных параметров;

- уметь готовить исходные данные для проведения термодинамических расчетов, самостоятельно их проводить с помощью программных средств;

- владеть методами контроля достоверности полученных результатов.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре ОП ВО

Дисциплина «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» входит в состав Вариативного модуля Блока 1.

1.4 Объем дисциплины (модуля) (с указанием трудоемкости всех видов учебной работы)

Таблица 1

Объем дисциплины (модуля) для очной формы обучения

| Виды учебной работы | Общая трудоемкость | | Семестр: | |
|---|--------------------|-----------|------------|-----------|
| | в ЗЕ | в час | 7 | |
| | | | в ЗЕ | в час |
| Общая трудоемкость дисциплины (модуля) | 2 | 72 | 2 | 72 |
| <i>Аудиторные занятия</i> | <i>1,5</i> | <i>54</i> | <i>1,5</i> | <i>54</i> |
| Лекции | 1 | 36 | 1 | 36 |
| Лабораторные работы | | | | |
| Практические занятия | 0,5 | 18 | 0,5 | 18 |
| <i>Самостоятельная работа студента</i> | <i>0,5</i> | <i>18</i> | <i>0,5</i> | <i>18</i> |
| Проработка учебного материала | 0,5 | 18 | 0,5 | 18 |
| Курсовой проект | | | | |
| Курсовая работа | | | | |
| Подготовка к промежуточной аттестации | | | | |
| Промежуточная аттестация: | зачет | | | |

1.5 Планируемые результаты обучения

Таблица 2

Формируемые компетенции

| Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) | Уровни освоения составляющих компетенций | | |
|--|--|---|---|
| | Пороговый | Продвинутый | Превосходный |
| <i>ПК-1 – способностью принимать участие в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования.</i> | | | |
| Знание - основ физико-математического моделирования свойств рабочих тел и процессов в двигателях и энергоустановках | Знание основ расчета свойств рабочих тел и процессов в двигателях и энергоустановках | Знание основ физико-математического моделирования свойств рабочих тел и процессов. методов расчета равновесных состояний в тепловых двигателях и энергоустановках | Знание основ физико-математического моделирования свойств рабочих тел и процессов. методов расчета равновесных состояний. основ неравновесных процессов. основ расчета токсичности в тепловых двигателях и энергоустановках |

| | | | |
|--|--|--|---|
| <p>Умение - использовать основы знаний для моделирования свойств рабочих тел и процессов в двигателях и энергоустановках</p> | <p>Умение использовать основы знаний для проведения оценочных расчетов свойств рабочих тел и равновесных процессов в тепловых двигателях и энергоустановках</p> | <p>Умение использовать основы знаний для расчета свойств рабочих тел и равновесных процессов в тепловых двигателях и энергоустановках, оценки свойств переноса</p> | <p>Умение использовать основы знаний для моделирования свойств рабочих тел и равновесных процессов в тепловых двигателях и энергоустановках, оценки свойств переноса, неравновесности процессов, токсичности</p> |
| <p>Владение - навыками расчета равновесного состава и свойств продуктов сгорания тепловых двигателей; - навыками использования программных средств для проведения вычислительных работ при проектировании.</p> | <p>Владение навыками расчета равновесного состава продуктов сгорания простейших топливных пар тепловых двигателей, в том числе с использованием программных средств.</p> | <p>Владение навыками расчета равновесного состава продуктов сгорания различных топливных композиций тепловых двигателей и энергоустановок в широком диапазоне исходных данных, в том числе с использованием программных средств.</p> | <p>Владение навыками расчета равновесного состава и свойств продуктов сгорания различных топливных композиций тепловых двигателей и энергоустановок в широком диапазоне исходных данных, оценки свойств переноса, неравновесности, токсичности процессов, в том числе с использованием программных средств.</p> |
| <p>ПК-26 – способностью разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности</p> | | | |
| <p>Знание: - механизмов горения топлива в различных агрегатных состояниях; - физических и математических моделей физико-химических равновесных и неравновесных процессов в двигателях и энергоустановках; - влияния параметров рабочих процессов на геометрию проточных трактов двигателей и энергоустановок.</p> | <p>Знание - базовых механизмов горения топлива в различных агрегатных состояниях; - некоторых физических и математических моделей равновесных процессов в двигателях и энергоустановках; - влияния отдельных параметров рабочих процессов на геометрию проточных трактов двигателей и энергоустановок.</p> | <p>Знание - механизмов горения топлива в различных агрегатных состояниях; - физических и математических моделей равновесных процессов в двигателях и энергоустановках; - влияния параметров рабочих процессов на геометрию проточных трактов двигателей и энергоустановок.</p> | <p>Знание - механизмов горения топлива в различных агрегатных состояниях; - физико-химических равновесных и неравновесных процессов в двигателях и энергоустановках; - влияния параметров рабочих процессов на геометрию проточных трактов двигателей и энергоустановок.</p> |

| | | | |
|--|---|---|---|
| <p>Умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать и применять физические и математические модели процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном и неравновесном приближении; - использовать физическое и математическое моделирование ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур, параметров течения и свойств реагирующей смеси. | <p>Умение</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять физические и математические модели процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном приближении; - использовать физические и математические модели ламинарных пламен для прогнозирования концентраций, температур и параметров течения. | <p>Умение</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать и применять физические и математические модели процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном приближении; - использовать физические и математические модели ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур и параметров течения. | <p>Умение</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать и применять физические и математические модели процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном и неравновесном приближении; - использовать физические и математические модели ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур, параметров течения, свойств реагирующей смеси. |
| <p>Владение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками разработки и применения физических и математических моделей процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном и неравновесном приближении; - навыками использования физического и математического моделирования ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур, параметров течения и свойств реагирующей смеси. | <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применения физических и математических моделей процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном приближении; - использования физических и математических моделей ламинарных пламен для прогнозирования концентраций, температур и параметров течения. | <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработки и применения физических и математических моделей процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном приближении; - использования физических и математических моделей ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур и параметров течения. | <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработки и применения физических и математических моделей процессов горения и течения в камерах сгорания двигателей и энергоустановок в равновесном и неравновесном приближении; - использования физических и математических моделей ламинарных и турбулентных пламен для прогнозирования концентраций, температур, параметров течения, свойств реагирующей смеси. |

РАЗДЕЛ 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ОСВОЕНИЯ

2.1 Структура дисциплины (модуля), ее трудоемкость

Таблица 3

Распределение фонда времени по видам занятий

| Наименование раздела и темы | Всего часов | Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Коды составляющих компетенций | Формы и вид контроля освоения составляющих компетенций (из фонда оценочных средств) |
|---|-------------|--|-----------|----------|-----------|---|---|
| | | лекции | лаб. раб. | пр. зан. | сам. раб. | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Введение. | 1 | 1 | | | | ПК- 1.3 | Собеседование |
| Раздел 1. Определение состава топлива и продуктов сгорания в рабочих процессах. | | | | | | | <i>ФОС ТК-1 тесты</i> |
| Тема 1.1. Расчет условной формулы и термодинамических исходных топлив. | 1 | 1 | | | | ПК- 1.3. ПК- 1.У, ПК- 1.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |
| Тема 1.2. Расчет равновесного состава, термодинамических и теплофизических свойств продуктов сгорания топлив. | 13 | 4 | | 6 | 3 | ПК- 1.3. ПК- 1.У, ПК - 1.В. ПК- 26.3, ПК- 26.У, ПК- 26.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |
| Раздел 2. Топлива авиационных и ракетных двигателей. | | | | | | | <i>ФОС ТК-2 тесты</i> |
| Тема 2.1. Топлива для авиационных двигателей. | 8 | 6 | | | 2 | ПК- 1.3. ПК- 1.У, ПК- 1.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. Отчет по сам-ной работе. |
| Тема 2.2. Жидкие ракетные топлива (ЖРТ). | 8 | 6 | | | 2 | ПК- 1.3. ПК- 1.У, ПК- 1.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |
| Тема 2.3. Твердые ракетные топлива (ТРТ). | 8 | 6 | | | 2 | ПК- 1.3. ПК- 1.У, ПК- 1.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |
| Раздел 3. Рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях. | | | | | | | <i>ФОС ТК-3 тесты</i> |
| Тема 3.1. Горение газообразного топлива. | 11 | 4 | | 4 | 3 | ПК- 26.3. ПК- 26.У, ПК- 26.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. Отчет по сам-ной работе. |
| Тема 3.2. Горение жидкого топлива. | 11 | 4 | | 4 | 3 | ПК- 26.3. ПК- 26.У, ПК- 26.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |

| | | | | | | | |
|---|----|----|--|----|----|----------------------------------|---|
| Тема 3.3. Горение твердого ракетного топлива. | 11 | 4 | | 4 | 3 | ПК- 26.З, ПК- 26.У, ПК- 26.В. | Выполнение расчетных заданий. Текущий контроль. |
| Зачет | | | | | | | <i>ФОС ПА - комплексное задание</i> |
| ИТОГО: | 72 | 36 | | 18 | 18 | | |

РАЗДЕЛ 3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) И КРИТЕРИИ ОЦЕНОК ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

3.1 Оценочные средства для текущего контроля

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля (ФОС ТК) является составной частью РП дисциплины (модуля) и хранится на кафедре.

Таблица 5

Фонд оценочных средств текущего контроля

| № п/п | Наименование раздела (модуля) | Вид оценочных средств | Примечание |
|-------|---|-----------------------|--|
| 1. | Определение состава топлива и продуктов сгорания в рабочих процессах. | ФОС ТК-1 | Индивидуальные задания для практических занятий (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по первому разделу (модулю) (ФОС ТК-1) |
| 2. | Топлива авиационных и ракетных двигателей. | ФОС ТК-2 | Индивидуальные задания для практических занятий (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по второму разделу (модулю) (ФОС ТК-2) |
| 3. | Рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях. | ФОС ТК-3 | Индивидуальные задания для практических занятий (таблица 3). Отчет о выполнении самостоятельной работы. Тест текущего контроля дисциплины по первому разделу (модулю) (ФОС ТК-3) |

Типовые оценочные средства для текущего контроля:

При температуре горения топливных пар выше 2000 К

- равновесный состав практически не меняется;
- *необходимо учитывать диссоциацию и ионизацию;
- равновесный состав определяется соединениями, устойчивыми к диссоциации.

Уравнения сохранения вещества – правильный вариант:

$$a) \sum_j a_{ij} n_j + n_i = M_T b_{i_T};$$

$$b) * \sum_j a_{ij} n_j + n_i = M_T b_{i_T};$$

$$c) \sum_j a_{ij} n_j - n_i = M_T b_{i_T}.$$

Вопросы по самостоятельной работе

1. Методы применяемые при расчете равновесного состава, их особенности?
2. И т.п.

3.2 Оценочные средства для промежуточного контроля

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (ФОС ПА) является составной частью РП дисциплины, разработан в виде отдельного документа, в соответствии с положением о ФОС ПА.

Первый этап: типовые тестовые задания

1. Зная низшую теплоту сгорания можно оценить температуру горения горючего с учетом полноты сгорания:
 - a) $\eta H_u = \bar{C}_p (1 + \alpha_{ок} K_m^0) \cdot (T - T_{нач})$;
 - b) $\eta H_u = \bar{C}_p (1 + K_m^0) \cdot (T - T_{нач})$;
 - c) $H_u = \bar{C}_p (1 + \alpha_{ок} K_m^0) \cdot (T - T_{нач})$.
2. И т.п.

Второй этап: вопросы к комплексному заданию –

Теоретические навыки:

1. Назвать факторы, способствующие распаду впрыскиваемого жидкого компонента топлива на капли.
2. Назвать факторы, влияющие на скорость горения.
3. Назвать возможные механизмы горения жидких топлив в ЖРД.
4. Особенности процесса сгорания в камерах ВРД.
5. Почему в основных камерах ВРД подвод воздуха осуществляется по всей длине камеры?
6. И т.п.

Практические навыки: решение задачи из билета

Примеры типовых задач:

1. Определить состав продуктов сгорания топлива $O_{2(ж)} + H_{2(ж)}$ при $\alpha_{ок}=6$.
2. Ламинарный газовый поток горючего поступает из горелки в воздух, где он поджигается. Высота пламени – 8 см. Диаметр горелки увеличивают на 50%, а скорость потока уменьшают на 50 %. Как изменится высота пламени? Показать, что высота пламени предварительно не перемешанной смеси не зависит от давления для постоянной массовой скорости.
3. Т.п.

3.3 Форма и организация промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

По итогам освоения дисциплины - зачет проводится в два этапа: **тестирование** и **выполнение письменного задания**.

Первый этап проводится в виде тестирования.

Тестирование ставит целью оценить пороговый уровень освоения обучающимися знаний и умений, предусмотренных компетенциями.

Для оценки превосходного и продвинутого уровня усвоения компетенций проводится **Второй этап** в виде **письменного задания**, в которое входит письменный ответ на контрольные вопросы и решение задачи.

3.4 Критерии оценки промежуточной аттестации

Результаты промежуточного контроля заносятся в АСУ «Деканат» в баллах.

Таблица 6

Система оценки промежуточной аттестации

| Описание оценки в требованиях к уровню и объему компетенций | Выражение в баллах | Словесное выражение |
|---|--------------------|---------------------|
| Освоен превосходный уровень усвоения компетенций | от 86 до 100 | Зачтено |
| Освоен продвинутый уровень усвоения компетенций | от 71 до 85 | Зачтено |
| Освоен пороговый уровень усвоения компетенций | от 51 до 70 | Зачтено |
| Не освоен пороговый уровень усвоения компетенций | до 51 | Незачтено |

РАЗДЕЛ 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1 Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1.1 Основная литература

1. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей: Учебник. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. – 608 с.

<https://e.lanbook.com/reader/book/60037/#2>

2. Бакулин В.Н., Дубовкин Н.Ф., Котова В.Н., Сорокин В.А., Францкевич В.П., Яновский Л.С. Энергоемкие горючие для авиационных и ракетных двигателей. / Под ред. Л.С. Яновского – М.: Изд-во «Физматлит», 2009. – 400 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/49095/#1>

3. Сухов, А.В. Твердые ракетные топлива: учебное пособие по курсу «Топлива и рабочие процессы ракетных двигателей на твердом топливе» / А.В. Сухов, М.В. Тюгаев, М.М.Фещенок и др. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2006. – 28 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/58420/#2>

4. Сухов, А.В. Топлива жидкостных ракетных двигателей: учебное пособие / А.В. Сухов, К.Э. Парыгин, А.В.Сергеев, И.В.Гавриленко – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2011. – 37 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/52307/#1>

5. Вашурин В.О., Петрикевич Б.Б., Чумаев Д.А. Энергетические характеристики жидких топлив и определение основных параметров камеры ЖРД: Учебное пособие – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2008. – 32 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/52286/#2>

6. Вашурин В.О., Петрикевич Б.Б., Чумаев Д.А. Энергетические характеристики твердых и гибридных топлив и определение основных параметров ракетных двигателей: Учебное пособие – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2010. – 36 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/52299/#2>

7. Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А., Суриков Е.В. Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. – М.: Изд-во «Физматлит», 2010. – 320 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/49095/#1>

8. Яновский Л.С., Харин А.А. Химмотологическое обеспечение надежности авиационных газотурбинных двигателей: Монография. – М.: Изд-во ИНФРА-М, 2015. – 264 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=505345>

4.1.2 Дополнительная литература

1. Алемасов, В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях энергетических установках: Учебное пособие для вузов / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегаллин, А.С. Черенков. – М.: Химия, 2000. – 520 с.

2. Алемасов, В.Е. Теория ракетных двигателей: Учебник для студентов высших технических учебных заведений/ В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П.Тишин; Под ред. В.П. Глушко. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.

3. Кудинов, А.А. Горение органического топлива: Учебное пособие. – М.: Изд-во ИНФРА-М, 2015. – 390 с.
<http://znanium.com/bookread2.php?book=441989>

4. Рагозин, Н.А. Реактивные топлива. – М.: Изд-во ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1963. – 165 с.

5. Зрелов, В.Н., Пискунов, В.А. Реактивные двигатели и топливо. – М.: Изд-во Машиностроение, 1968. – 312 с.

4.2 Информационное обеспечение дисциплины (модуля)

4.2.1 Основное информационное обеспечение

1. Электронные ресурсы НТБ КНИТУ-КАИ
<http://library.kai.ru/index.php?inc=elib>

4.3 Кадровое обеспечение

4.3.1 Базовое образование

Высшее образование в предметной области двигателестроения и/или наличие ученой степени по специальностям 05.07.05, 01.02.05, 01.04.14 и/или ученого звания по указанным специальностям.

Лист регистрации изменений и дополнений

| № п/п | № страницы внесения | Дата внесения изменения | Краткое содержание изменений (основание) |
|-------|---------------------|-------------------------|--|
| 1 | 1 | 01.02.2019 | Изменение наименования учредителя университета. В соответствии с утверждением устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский университет им. А.Н. Туполева-КАИ» в новой редакции (Приказ № 1042 от 26.11.2018) наименование «Министерство образования и науки Российской Федерации» читать как «Министерство науки и высшего образования Российской Федерации» |
| 2 | 12 | 01.02.2020 | Внести изменения в п.4.1.2. Дополнительная литература: 6. Химия и контроль качества эксплуатационных продуктов / Э.А. Иртуганова, С.Ю. Гармонов, В.Ф. Сопин. -М.:Инфра-М, 2019. - 528 с. |
| | | | |