

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва

Кафедра Общая и техническая физика

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
РГАТУ имени П.А. Соловьёва

_____ Т.Д. Кожина

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Теория подобия и метод анализа размерностей в аэрокосмической теплотехнике»

для специальности

05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Вид занятий	Кол-во часов	Кол-во зачетных единиц
Лекции	8	0,22
Практические занятия	12	0,33
Самостоятельная работа	43	1,19
Всего	63	1,74
Форма контроля	экзамен	

Рабочую программу составил:
профессор

Ш.А. Пиралишвили

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры ОиТФ « 13 » декабря 2011 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой ОиТФ
д-р техн. наук

Ш.А. Пиралишвили

Рыбинск, 2011 г.

Введение

Программа составлена в соответствии с государственным стандартом подготовки аспирантов по направлению 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», а также с учебным планом аспирантов «05.07.05_78_123-0000 план, код специальности 05.07.05, год начала подготовки 2011, направление «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Квалификация подготовки – кандидат технических наук.

Цель преподавания дисциплины подготовить аспиранта вооружив его знаниями и навыками грамотного планирования многофакторных экспериментов, обработке и анализу полученных результатов с разработкой расчетных уравнений, учитывающих условия физического подобия явлений и процессов, протекающих в технических устройствах.

Помочь обучающемуся в аспирантуре на начальном этапе качественно спланировать предполагаемые опыты на экспериментальной модели созданной с учетом требований теории подобия, а затем после их завершения осуществить необходимую качественную обработку и осмысливание.

Задачи изучения дисциплины

В процессе освоения дисциплины обучающимся необходимо приобрести теоретические знания и практические навыки непосредственно применив к решаемым задачам и разрабатываемым экспериментальным установкам снабдив их требуемым метрологическим, приборным комплексом, позволяющим гарантировать требуемую точность снимаемых данных. Владеть приемами измерения данных и их грамотной обработки с последующим в рамках теории подобия и метода размерностей анализом. Привить навыки в оценке качества проверенных опытов и проверки адекватности полученных опытных зависимостей – критериальных уравнений.

Рекомендации по изучению дисциплины

Программа составлена с учетом реального времени, отведенного на различные методические разделы освоения курса в строгом соответствии с заявленным распределением часов в соответствии с действующими нормативными документами и утвержденным учебным планом.

Качество усвоения материала курса с приобретением необходимых практических навыков достигается вдумчивым отношением к прослушанному на лекциях теоретического материала в совокупности с приобретенным опытом конкретного приложения, знаний к решению задач своей диссертационной работы. Последнее достигается на практических –

семинарских занятий и в процессе выполнения самостоятельной работы обучающимися аспирантами.

Материал курса опирается на базовые знания приобретенные в процесс обучения на предшествующих уровнях при освоении дисциплин формирующих уровень образования по соответствующему направлению:

Дисциплины естественно-научного цикла – физика, математика, базовые дисциплины – механика жидкости и газа, термодинамика, тепломассообмен, физика процессов горения, спецдисциплины.

1 Содержание дисциплины

1.1 Лекции

Лекция 1. Единицы измерения. Системы единиц измерения. Теория размерностей. Примеры применения теории размерностей в практике закрученных потоков. 2 часа.

Лекция 2. Теория подобия. Подобие в математике, физике, теплофизике, технике. Теоремы подобия. Метод приведения. Критерии подобия. Условие однозначности. Определяющие и определяемые параметры. Критериальные уравнения. 2 часа.

Лекция 3. Критерии подобия в МЖГ, тепломассообмена, физике процессов горения и их физический смысл. Алгебраический метод построения безразмерных комплексов. 2 часа.

Лекция 4. Подобие в теплофизических процессах при закрутке потока. 2 часа.

1.2 Практические занятия

1. Разработка методики экспериментального исследования, численного моделирования и подбор метрологического обеспечения. 4 часа.
2. Алгебраическое и аналитическое обоснование выбора характерных безразмерных комплексов, обеспечивающих корректное описание решаемой задачи диссертационного исследования. 2 часа.
3. Построение банка критериев подобия потоков с целью изучения процессов теплообмена и энергоразделения. 4 часа.
4. Анализ предварительных опытных результатов в процессе сопоставления с известными данными. 2 часа.

2 Литература

1. Пиралишвили, Ш.А. Теория подобия и метод анализа размерностей [Текст]/ Ш.А. Пиралишвили, С.В. Веретенников, А.И. Гурьянов.– Рыбинск: РГАТУ, 2012.– с.
2. Исаев, С.И. Теория тепломассообмена. Учебник для технических университетов и вузов [Текст]/ С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др.; под ред. А.И. Леонтьева.– М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.– 683 с.

3. Пиралишвили, Ш.А. Физика процессов горения [Текст]/ Ш.А. Пиралишвили, А.И. Гурьянов.– Рыбинск: РГАТА, 2010.– 194 с.

3 Методические указания по изучению дисциплины

Теоретическое изложение курса ограничено небольшим числом отведенных программой курса. Задача читаемых лекций, таким образом, сводится к повторению ключевых моментов в дисциплину и акцентированию моментов, которые должны пригодиться при работе во время практических занятий над разработкой критериальной базы изучаемой проблемы и получении экспериментальных материалов в соответствии с математическим анализом перебора основных влияющих на эксперимент факторов с последующей его критериальной обработкой.

Хотелось бы подчеркнуть, что метод анализа размерностей и теория подобия могут быть использованы для построения критериальных уравнений не только при физическом, но и при численном моделировании.

Процесс изучения построен на повторении основ, преподававшихся ранее в курсах МЖГ, теплообмен, гидравлика, физика процессов горения. Перед его освоением целесообразно повторить ранее полученные знания, для того, чтобы на практических занятиях более успешно применять эти знания и навыки для решения конкретных задач, разрабатываемой в рамках будущей диссертационной работы тематики.

4 Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Теория размерностей. Единицы измерения. Формула размерностей.
2. Системы единиц измерения. Преобразование систем и их применение.
3. Алгебраический метод построения безразмерных комплексов.
4. Теория подобия. Подобие в математике. Параметры подобия.
5. Подобие в физике и технике. Сходственные точки пространства и сходственные моменты времени.
6. Виды подобия. Критерии подобия и их физический смысл.
7. Теоремы подобия. Границы их применения.
8. Вывод критериев подобия методом приведения.
9. Критериальные уравнения и их получение.
10. Критерии подобия в теплопроводности. Число Био, его физический смысл.
11. Нестационарная теплопроводность. Число Фурье, его физический смысл.
12. Теплоотдача и число Нуссельта, его физический смысл.
13. Вынужденная конвекция. Число Рейнольдса, его физический смысл.
14. Теплоотдача при вынужденной конвекции. Число Пекле и Стантона, их физический смысл.

15. Тепловой и динамический пограничный слой. Число Прандтля, физический смысл.
16. Свободная конвекция. Число Галилея. Число Архимеда, их физический смысл.
17. Теплоотдача при свободной конвекции. Число Грасгофа. Число Релея, их физический смысл.
18. Подобие в гидравлике. Число Эйлера. Число Маха, их физический смысл.
19. Нестационарное движение. Число Струхала, физический смысл.

5 Примеры контрольных заданий

1. При изучении теплообмена на модели в условиях естественной конвекции между горизонтальной трубой с температурой t_c и воздухом получены следующие данные:

$t_c, ^\circ\text{C} \dots\dots\dots$	85	125	145
$q, \text{Вт/м}^2 \cdot 0,01 \text{ м} \dots\dots\dots$	9,34	10,35	10,76

Труба наружным диаметром 45 мм была помещена в воздух с температурой 20°C. По измерениям на модели найти обобщенную зависимость в виде формулы $Nu_{d,ж} = C(Cr, Pr)^n d_{ж}$, используя которую, определить теплоту, передаваемую в 5 ч от горизонтальной трубы диаметром 10 мм и длиной 4 м к воде с температурой 40°C. Температура поверхности трубы равна 60°C.

2. Температурное поле в длинном цилиндре диаметром 200 мм исследуется по истечении 30 и 60 мин с помощью модели. Теплопроводность и температуропроводность материала цилиндра 15 Вт/(м К) и 0,002 (м²/К), материала 4 Вт/(м К) и 0,0008 (м²/К). Найти диаметр модели и с какого времени в модели следует измерять распределение температур. Принять коэффициент теплоотдачи для цилиндра 9,8 и для модели 35 Вт/(м²К).

3. Найти кинематическую вязкость для жидкости и модели где изучается теплообмен при вынужденной конвекции, если коэффициент температуропроводности жидкости 0,8 мм²/с. В образце в виде трубы движется воздух с температурой 180 °С и абсолютным давлением 100 кПа.

4. Определить значение чисел Nu , Re , Cr , Eu , Pe для следующих условий: среда движется по трубе диаметром 24x2 мм и длиной 2 м, её расход 50 кг/ч. На входе температура среды 80 °С, на выходе 40 °С, средняя температура стенки трубы 25 °С. Соппротивление движению среды 400 Па. В качестве среды принять воду и воздух. Определяющие параметры – средняя температура среды и внутренний диаметр трубы.

5. На воздушной модели котла производилось изучение теплоотдачи при вынужденной конвекции, и при различных скоростях воздуха были получены представленные ниже коэффициенты теплоотдачи:

$V, \text{м/с} \dots\dots\dots$	2,0	3,14	4,65	8,8
$q, \text{Вт/м}^2 \cdot 0,01 \text{ м} \dots\dots\dots$	50,5	68,6	90,7	141,2

В модели средняя температура воздуха 20 °С, трубы имеют диаметр 14 мм. По данным полученным на модели, определить значения C и n по

формуле . Используя полученную формулу, найти поверхность нагрева натурального котла, если скорость дымовых газов в газоходе 8 м/с, а средняя температура газов 800 °С. Трубы диаметром 80 мм имеют температуру 300 °С. Передаваемый тепловой поток 1,2 МВт.

6. Для измерения расхода газа в трубопровод диаметром 270 мм поставили диафрагму. Её размеры были определены после испытания на модели, уменьшенной в 3 раза. Во время испытаний через модель пропускалась вода с температурой 30 °С, при расходе воды более 28 м³/ч наблюдался автомодельный режим. Найти минимальный расход газа для автомодельного режима, а также соответствующие этому режиму скорость газа и гидравлическое сопротивление (сопротивление на модели составило 280 мм.рт.ст.). Принять плотность газа 0,9 кг/м³, кинематическую вязкость 14 мм²/с.

7. Азот при температуре 200 °С и давлении 1 МПа движется в трубе со скоростью 10 м/с. Для исследования гидродинамического процесса построена уменьшенная в 4 раза модель, где движется вода с температурой 20 °С. Определить скорость воды в модели.