

## **Указания преподавателю по проведению курса «Теория и расчет лопаточных машин»**

### **1. Цели и задачи курса «Теория и расчет лопаточных машин»**

Цель изучения дисциплины - формирование у студентов современных знаний в области рабочего процесса в турбомашинах и навыков поиска оптимальных проектных решений, в том числе и с учетом требований смежных дисциплин.

Задачи курса:

1. Усвоение теоретических основ рабочего процесса основных типов турбомашин и их совместной работы в составе изделия.
2. Выработка навыков и приемов анализа рабочих процессов турбомашин.
3. Ознакомление с современными методиками проектирования турбомашин.
4. Формирование компетенций проектирования проточной части компрессоров и турбин.
5. Ознакомление и получение навыков расчетных газодинамических исследований с помощью методов вычислительной газовой динамики на примере турбомашин.
6. Развитие у студентов навыков поиска оптимальных проектных решений на примере турбомашин с учетом прочностных, технологических, экономических и других требований.
7. Формирование знаний о экспериментальном исследовании газодинамических процессов на примере турбомашин.

Для получения *удовлетворительной* оценки по результатам изучения курса студент должен иметь базовые знания о принципе действия, рабочих процессах, характеристиках компрессоров и турбин.

Для получения *хорошей* оценки по результатам изучения курса студент должен уметь исследовать анализировать рабочий процесс и характеристики компрессоров и турбин с применением современных расчетных и экспериментальных методик.

Для получения *отличной* оценки по результатам изучения курса студент должен иметь углубленные знания о рабочем процессе в основных типах турбомашин, уметь их самостоятельно исследовать и анализировать с применением современных расчетных и экспериментальных методик, иметь навыки поиска оптимального проектного решения и газодинамической доводки.

### **2. Основные подходы к проведению курса**

Учебный курс «Теория и расчет лопаточных машин» состоит из следующих элементов:

- курса лекций;
- текущего контроля знаний;
- лабораторно – практического практикума;
- курсовой работы;
- итоговой аттестации.

Курс составлен таким образом, чтобы максимально поощрять и оценивать работу студентов в течение семестра, что позволит в перспективе сделать итоговую аттестацию формальной.

**Курс лекций** читается преподавателем аудиторно с применением презентаций. Презентации должны содержать большое количество рисунков и видеофрагментов, поясняющих материал. Курс лекций содержит наиболее важные и сложные разделы курса, поясняются решения типовых задач и примеров. Запись лекций под диктовку не ведется и лекций, за исключением мест которых нет в лекционном курсе или вызвали затруднение у студентов. Традиционная классная доска также применяется для разъяснения моментов, по каким либо причинам отсутствующим в лекционном курсе, или пояснении мест, вызвавших затруднения.

Курс лекций состоит из четырех основных разделов:

- Место лопаточных машин в современной промышленности;
- Базовые понятия и уравнения теории лопаточных машин;
- Рабочий процесс компрессора;
- рабочий процесс турбины.

Вся необходимая информация для изучения курса излагается в учебнике, предельно наглядном и написанном простым языком с максимально возможными пояснениями. Учебник распространяется в твердом виде через библиотеку или покупается за деньги.

Минимально необходимая (базовая) информация для изучения курса содержится в конспекте лекций, который раздается студентам в твердом (возможно за плату) или электронном (для самостоятельной распечатки) виде. Конспект содержит все необходимые схемы, определения, пояснения, тезисное изложение материалов, тексты рассматриваемых задач и типовые контрольные вопросы. Рисунки конспекта могут иметь недорисованные элементы для самостоятельного заполнения их студентами в процессе лекций. Также конспект содержит место для заметок, которые студент может делать по ходу прослушивания лекции. Подразумевается, что опорным конспектом студент будет пользоваться на лекции, делая там необходимые пометки.

Кроме того для самостоятельного изучения разделов курса студенты могут пользоваться дополнительной литературой, рекомендованный список которой приводится и в учебнике и конспекте лекций.

Все необходимые материалы: учебник, конспект, презентации студент может получить в электронном виде на сайте кафедры. Там же указывается расписание встреч с преподавателем, указывается текущая успеваемость, важные объявления, связь с преподавателем. Возможно, доступ на страничку будет доступен только для студентов учебной группы.

Курс лекций начитывается концентрировано в начале семестра в течение 2...4 недель. Курс читает доцент или профессор.

**Текущий контроль знаний** выполняется по разделам и проводится после окончания соответствующего раздела в виде письменной контрольной работы. Контролю может предшествовать консультационное занятие по предварительной договоренности с преподавателем. В его ходе студенты могут задавать любые вопросы по разделу.

Список вопросов содержится в сборнике контрольных вопросов и недоступен для студентам в полном объеме. Для них доступен только список типовых вопросов, размещаемый в учебнике и конспекте. Задание на контрольную работу должно содержать не менее 5 вариантов. Содержание вариантов должно меняться ежегодно.

Контрольная проводится одновременно для всех студентов группы. Во время контроля запрещается пользоваться конспектами, литературой и сотовыми телефонами. Человек, уличенный в списывании удаляется – работа не засчитывается. Контроль проводится не менее чем двумя сотрудниками кафедры. Участие профессора или доцента – не обязательно. Во время проведения контрольной студенты имеют право пользоваться листом с основными формулами, который выдается преподавателем. Каждому студенту выдаются два листа с вопросами: вопросы базового уровня и вопросы повышенной сложности.

Контрольная работа оценивается по схеме зачет/не зачет. Зачтенной считается работа, в которой содержатся правильные ответы не менее чем на 50% вопросов.

Контрольная работа должна содержать в равной пропорции вопросы тесты и вопросы требующие развернутого ответа. Например, 4 тестовых вопроса и 2...3 – обычных. Стоимость тестовых вопросов – не более 40% от общей оценки.

Контрольная работа имеет **два** уровня сложности: базовый и усложненный. Базовый уровень содержит только основные вопросы, содержание которых приближено к тексту конспекта. Вопросы повышенной сложности требуют понимания физических процессов, происходящих в турбомашине. Они по возможности формулируются отлично от формулировок конспекта.

Контрольную работу можно переписать только один раз, не зависимо от причин переписывания. В зачет идет лучший результат. Студенты получившие «зачет» по всем контрольным – допускаются к экзамену.

**Лабораторный практикум** проводится с применением современных программных комплексов вычислительной газовой динамики *Ansys CFD* или *NUMECA*. Лабораторный практикум имеет три уровня сложности и объема работ. Первый уровень содержит четыре обязательных работы:

- изучение рабочего процесса в компрессоре;
- изучение рабочего процесса в турбине;
- расчетное определение напорной характеристики компрессора;
- изучение структуры потока в РК осевой турбины.

Данные работы обязательны для всех.

Работы второго уровня по сложности выполнения незначительно отличаются от работ первого уровня, но требуют большего объема вычислительных затрат и анализа. Примеры таких работ:

- получение характеристики плоской компрессорной решетки;
- получение характеристики плоской турбинной решетки;
- исследование структуры потока в лопаточном венце осевого компрессора;
- влияние параметра нагруженности на рабочий процесс в ступени турбины;
- изучение структуры потока в безбандажном радиальном зазоре осевого компрессора;
- изучение структуры потока в безбандажном радиальном зазоре осевой турбины;
- изучение изменения параметров по высоте проточной части ступени компрессора;
- изучение изменения параметров по высоте проточной части ступени турбины;
- изучение рабочего процесса многоступенчатого компрессора;
- влияние числа Рейнольдса на рабочий процесс в ступени компрессора;
- изучение рабочего процесса многоступенчатой турбины.

Работы третьего уровня требуют углубленного изучения выбранного процесса и возможностей программного комплекса. Примеры таких работ:

- получение универсальной расчетной характеристики ступени компрессора;
- получение универсальной расчетной характеристики ступени турбины;
- исследование влияния бандажной полки РК компрессора на рабочий процесс в ступени;

- исследование влияния бандажной полки РК турбины на рабочий процесс в ступени;
- влияние притрактового лабиринта на рабочий процесс в ступени компрессора;
- влияние притрактового лабиринта на рабочий процесс в ступени турбины;
- изучение нестационарной картины потока в ступени осевого компрессора;
- изучение нестационарной картины потока в ступени осевого турбины;
- влияние осевого зазора на рабочий процесс ступени компрессора (нестационарный расчет);
- влияние осевого зазора на рабочий процесс ступени турбины (нестационарный расчет).

Для получения удовлетворительной оценки студент должен выполнить и отчитать обязательные работы. Для получения оценки «хорошо» дополнительно выполнить две работы второго уровня на выбор из списка. Для получения оценки «отлично» дополнительно выполнить две работы второго уровня и одну – третьего из соответствующего списка, либо две работы второго уровня. Темы работ выбираются таким образом, чтобы число работ по компрессору и турбине было равным. Преподаватель стремиться распределить задания таким образом, чтобы по возможности исключить повторения заданий в группе.

Для выполнения лабораторных работ студент должен получить допуск. Для этого он должен выполнить тестовый пример в CFD программном комплексе, составить и защитить план исследования (кроме базовых работ) и успешно написать контрольную работу по рассматриваемому разделу. Перед составлением и защитой плана исследования студент может проконсультироваться и разъяснить неясные моменты у преподавателя.

В случае невыполнения указанных условий студент до работы не допускается.

По результатам каждой работы студент оформляет отчет содержащий план исследования, последовательность работы и полученные результаты. Защита работы второго уровня производится устно в виде опроса. Защита работы третьего уровня может проводиться в виде доклада результатов работы студентам группы. Вопросы по работе задают все студенты группы.

В качестве объекта исследования на лабораторной работе целесообразно использовать лопаточные машины, спроектированные в курсовой работе. Однако могут использоваться венцы, предоставленные преподавателям. Студенты, использующие собственноручно спроектированные венцы должны иметь льготы при защите.

**Курсовая работа** проводится с применением современных программных комплексов вычислительной газовой динамики *Ansys CFD* или *NUMECA*. Курсовая работа имеет три уровня сложности и объема работ.

Если студент претендует на оценку «удовлетворительно», то он выполняет проектирование только одной лопаточной машины (компрессора или турбины по указанию). Результатом работы являются треугольники скоростей ступени и профили рабочей лопатки в трех сечениях. По полученным профилям строится 3D модель пера лопатки. CFD расчет не производится.

Если студент претендует на оценку «хорошо», то он выполняет проектирование по одной ступени компрессора и турбины. Результатом работы являются треугольники скоростей ступени и профили рабочих лопаток в трех сечениях. По полученным профилям строится 3D модели рабочих лопаток. Для одной из ступеней проводится CFD расчет течения в РК, в ходе которого определяется величина КПД, графики изменения параметров по высоте лопатки, которые сравниваются с расчетными.

Если студент претендует на оценку «отлично», то он выполняет проектирование по одной ступени компрессора и турбины. Результатом работы являются треугольники скоростей ступени и профили всех лопаток ступени в трех сечениях. По полученным профилям строится 3D модели рабочих лопаток. Для одной из ступеней проводится CFD расчет течения в ступени одной ступени в ходе которого определяется величина КПД, графики изменения параметров по высоте лопатки, которые сравниваются с расчетными. Проводится анализ структуры потока, намечаются пути улучшения структуры. Проводится исследование для выбора оптимальных проектных параметров ступени.

	<i>Удовлетворительно</i>	<i>Хорошо</i>	<i>Отлично</i>
<i>Расчет</i>	Ступень компрессора или турбины	Ступень компрессора + ступень турбины	Ступень компрессора + ступень турбины
<i>профилирование</i>	РК спроектированной машины	РК компрессора и турбины	ступень компрессора и турбины
<i>CFD расчет</i>	-	РК компрессора или турбины	ступень компрессора или турбины
<i>Анализ</i>	-	-	структура потока
<i>Оптимизация</i>	-	-	выбор оптимальных параметров турбомашин

Преподаватель устанавливает срок сдачи работы не менее, чем за 2 недели до сессии. В случае если работа сдается в срок, то оценка ставится в соответствии с ее объемом. Если

работа сдана позже указанного срока, то преподаватель может принять ее только после успешного ответа студентом на дополнительные вопросы.

**Итоговая аттестация** проводится по четырехбальной системе: отлично, хорошо, удовлетворительно, не удовлетворительно. Для получения желаемой оценки необходимо выполнить условия указанные в таблице. Если хотя бы одно условие не выполняется ставится пониженная оценка.

Примечания.

1. если студент посетил менее 40% лекций, то для получения оценки он должен успешно написать контрольные работы второго уровня (50/50).
2. студенты, не написавшие контрольную работу базового уровня более чем 3 раза проходят собеседование перед комиссией не менее, чем из двух человек, которая принимает решение о зачете или незачете по контрольным.

<i>Уровень сложности</i>	<i>Оценка</i>	<i>Посещение лекционных занятий</i>	<i>Контрольная работа</i>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Курсовая работа</i>
<i>1</i>	<b><i>Удовлетворительно</i></b>	не менее 40%	базовая контрольная – (результат не менее 50%)	4 обязательных работы	работа первого уровня сложности: Проектирование одной лопаточной машины по указанию преподавателя. Результат – трехмерная модель пера рабочей лопатки. CFD расчета нет.
<i>2</i>	<b><i>Хорошо</i></b>	не менее 60%	базовая контрольная + вопросы повышенной сложности (результат не менее 50%)	4 обязательных работы + 2 дополнительных работы (защита устно преподавателю)	работа второго уровня сложности: Проектирование ступеней двух лопаточных машин (компрессора и турбины). Результат – трехмерные модели перьев РК компрессора и турбины. CFD расчет течения в РК одной из лопаточных машин.
<i>3</i>	<b><i>Отлично</i></b>	не менее 80%	базовая контрольная + вопросы повышенной сложности (результат не менее 70%)	4 обязательных работы + 2 дополнительных работы (защита устно преподавателю) + 1 исследовательская лабораторная работа (защита в виде доклада)  либо  4 обязательных работы + 2 исследовательских лабораторных работы (защита в виде доклада)	работа третьего уровня сложности: Проектирование ступеней двух лопаточных машин (компрессора и турбины). Результат – трехмерные модели перьев всех лопаток ступени по одной ступени компрессора и турбины. CFD расчет течения в ступени. Поиск оптимального сочетания параметров. Анализ структуры потока и предложения по его улучшению.



