

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Численные методы в аэродинамике**

по направлению подготовки

**24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Баллистика и гидроаэродинамика**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.И. Борзенко

К.С. Рогаев

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-7 Способен нести ответственность за принятие решений по части или всем сложным видам инженерной деятельности

ПК-2 Способен проводить наблюдения и измерения, составлять их описания и формулировать выводы

ПК-3 Математическое описание объектов исследования – разработка алгоритмов

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-7.2 Умеет выбирать средства и технологии, в том числе с учетом последствий их применения в профессиональной сфере, определять приоритеты профессиональной деятельности и способы ее совершенствования

РОПК-2.1 Знает цели и задачи проводимых исследований и разработок

РОПК-2.2 Умеет применять методы проведения экспериментов

РОПК-3.1 Знает основы информационных технологий в области информационно телекоммуникационной сети «Интернет»

РОПК-3.2 Умеет применять фундаментальные научные знания в качестве основы инженерной деятельности

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- контрольная работа;
- лабораторно-практические работы.

### **Контрольная работа (РОПК-2.1, РОПК-3.1).**

Контрольная работа состоит из двух теоретических вопросов по теме лекций и выполняется дома, ответы прикрепляются студентом в элементе «Контрольная работа» в электронном курсе и проверяются преподавателем.

*Примеры вопросов для контрольной работы.*

1. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.
2. Основные понятия конечно-разностных методов. Аппроксимация. Устойчивость. Сходимость. Теорема Лакса.

1. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.
2. Схема Лакса-Вендрофа решения задач газовой динамики.

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов.
2. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов".

1. Аэродинамическое подобие и его составляющие.
2. Схема С.К. Годунова решения задач газовой динамики.

### **Критерии оценивания элемента Контрольная работа**

Результаты работы оцениваются баллами от 2 до 5.

5 баллов – ответы на вопросы контрольной работы приведены в полном объеме, с правильной терминологией изучаемой дисциплины, логичны в изложении.

4 балла – ответы приведены не в полном объеме, ответы содержат незначительные ошибки, есть незначительные ошибки в терминологии.

3 балла – ответы содержат значительные ошибки, есть ошибки в терминологии.

2 балла, неудовлетворительная оценка, ответы содержат значительные ошибки, есть грубые ошибки в терминологии или работа не представлена к проверке.

**Лабораторно-практическая работа №1** (РООПК-7.2, РОПК-2.1, РОПК-2.2, РОПК-3.1, РОПК 3.2).

Составить программу расчета задачи одномерной газовой динамики по схеме С.К. Годунова, причем решение задачи произвольного разрыва выделить в отдельную процедуру (функцию). Продемонстрировать работу программы при решении тестовой задачи Сода для различного количества разбиений расчетной области.

Лабораторно-практическая работа выполняется дома. Для оценивания студентом предоставляется код программы, а также пространственные распределения расчетных газодинамических характеристик в заданный момент времени, полученные при решении задачи Сода.

**Критерии оценивания элемента Лабораторно-практическая работа №1**

Лабораторно-практическая работа считается выполненной успешно, если представленные результаты расчетов тестовой задачи близки к аналитическому решению и студент дает грамотные ответы на вопросы по тексту программы.

**Лабораторно-практическая работа №2** (РООПК-7.2, РОПК-2.1, РОПК-2.2, РОПК-3.1, РОПК 3.2).

Составить программу расчета задачи обтекания сверхзвуковым потоком выпуклого угла (течение Прандтля–Майера) в плоской двумерной постановке по схеме С.К. Годунова. Задачу решить методом установления, для нахождения потоков использовать процедуру (функцию) решения задачи произвольного разрыва, написанную при выполнении лабораторно-практической работы №1. Продемонстрировать работу программы для различных параметров набегающего потока и угла отклонения стенки.

Лабораторно-практическая работа выполняется дома. Для оценивания студентом предоставляется код программы, а также установившиеся пространственные распределения расчетных газодинамических характеристик, полученные при решении задачи обтекания сверхзвуковым потоком выпуклого угла.

**Критерии оценивания элемента Лабораторно-практическая работа №2**

Лабораторно-практическая работа считается выполненной успешно, если представленные результаты расчетов задачи обтекания сверхзвуковым потоком выпуклого угла (течение Прандтля–Майера) близки к аналитическому решению и студент дает грамотные ответы на вопросы по тексту программы.

**3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Промежуточная аттестация реализуется путем проведения экзамена. К экзамену допускается студент, выполнивший все лабораторно-практические работы (3-5 баллов). Экзамен проводится в письменной форме. Продолжительность экзамена 1.5 часа. В билете два теоретических вопроса.

Вопросы по теории направлены на оценку сформированности по индикаторам компетенций РОПК 2.1, РОПК 3.1, РОПК 3.2.

Теоретические вопросы по дисциплине.

1. Задачи исследования течений газа около твердого тела. Соотношение газодинамического и экспериментального подходов.
2. Роль аэродинамических исследований в охране окружающей среды.
3. Аэродинамические силы и моменты. Силовое воздействие газа на движущееся в нем тело.
4. Законы подобия и размерностей в аэродинамике. Основные соотношения для аэродинамических характеристик в условиях подобия.
5. Приближенные аналитические методы. Метод "местных конусов". Ограничения метода.
6. Приближенные аналитические методы. Метод "ньютонова торможения". Ограничения метода.
7. Метод характеристик. Задача Коши. Уравнения характеристик.
8. Построение характеристик (аналитическое, численное). Характеристические поверхности.
9. Схема решения газодинамических задач методом характеристик. Проблемы и область применения метода характеристик.
10. Конечно-разностные методы. Методы построения разностных схем для уравнений газовой динамики.
11. Однородные разностные схемы. Консервативные схемы. Схемы с искусственной вязкостью.
12. Схемы Лакса, Лакса-Вендрофа, Мак-Кормака
13. Схема С.К. Годунова.
14. Методы "расщепления" в задачах газовой динамики. Метод "крупных частиц". Эйлеров и Лагранжев этапы расчета.
15. Нестационарная аэродинамика. Неустановившееся сверхзвуковое обтекание тел. Свойства аэродинамических производных.
16. Приближенные методы определения нестационарных аэродинамических характеристик. Гипотезы гармоничности и стационарности.

#### **Критерии оценивания ответа по билету:**

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если студентом даны правильные, развернутые ответы на два теоретических вопроса с подробным объяснением.

Оценка «хорошо» выставляется, если ответы на вопросы билета даны студентом в общем верно, но не в полном объеме. Требуется задавать наводящие вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если ответы студента на вопросы билета даны с существенными ошибками, наводящие вопросы с трудом помогают студенту сформулировать правильный ответ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при отсутствии знаний у студента по вопросам билета.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

Вопросы для проведения теста по дисциплине

1. Принцип обращения движения в экспериментальной аэродинамике используется в следующих устройствах:
  - а) баллистические установки;
  - б) аэродинамические трубы;
  - в) ударные трубы.

2. Углы, определяющие положение летательного аппарата относительно вектора скорости:
- а) угол атаки;
  - б) угол рыскания;
  - в) угол тангажа;
  - г) угол скольжения;
  - д) угол крена.
3. Углы, определяющие положение летательного аппарата относительно Земли
- а) угол атаки;
  - б) угол рыскания;
  - в) угол тангажа;
  - г) угол скольжения;
  - д) угол крена.
4. Проекция главной аэродинамической силы на ось  $Ox$  скоростной системы координат называется
- а) сила лобового сопротивления;
  - б) подъёмная сила;
  - в) боковая сила.
5. Проекция главного аэродинамического момента на ось  $Oy$  скоростной системы координат называется
- а) момент крена;
  - б) момент рыскания;
  - в) момент тангажа.
6. Критерии подобия, существенные в аэродинамическом эксперименте:
- а) критерий геометрического подобия;
  - б) число Прандтля,  $Pr$ ;
  - в) число Рейнольдса,  $Re$ ;
  - г) число Маха,  $M$ ;
  - д) число Кнудсена,  $Kn$
7. Для каких чисел Маха можно рассматривать воздух как несжимаемую жидкость, т. е. проводить определение давления без учета сжимаемости среды?
- а)  $M < 0,3$ ;
  - б)  $M < 1$ ;
  - в)  $M < 5$ .
8. Для каких чисел Маха модель совершенного газа для воздуха не приемлема?
- а)  $M > 0,3$ ;
  - б)  $M > 1$ ;
  - в)  $M > 5$ .
9. Сколько характеристик в случае установившегося плоского или осесимметричного течения газа можно провести через каждую точку пространства в сверхзвуковом потоке?
- а) 0;
  - б) 1;
  - в) 2.

10. Как располагаются относительно друг друга характеристики в плоскости потока и в плоскости годографа скорости в случае установившегося плоского или осесимметричного течения газа?

- а) параллельно;
- б) под углом  $45^\circ$ ;
- в) перпендикулярно.

11. Конечно-разностная схема консервативна, если

- а) малым возмущениям во входных данных соответствуют малые возмущения в ее решении;
- б) для нее выполняются законы сохранения, на основе которых поставлена дифференциальная задача;
- в) ее решение стремится к решению соответствующей ей дифференциальной задачи при увеличении количества разбиений.

12. Схема Лакса решения задач газовой динамики –

- а) явная схема первого порядка точности по времени и по пространственной координате;
- б) явная схема первого порядка точности по времени и второго порядка по пространственной координате;
- в) явная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате;
- г) неявная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате.

13. Схема Лакса-Вендрофа решения задач газовой динамики –

- а) явная схема первого порядка точности по времени и по пространственной координате;
- б) явная схема первого порядка точности по времени и второго порядка по пространственной координате;
- в) явная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате;
- г) неявная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате.

14. Схема С.К. Годунова –

- а) явная схема первого порядка точности по времени и по пространственной координате;
- б) явная схема первого порядка точности по времени и второго порядка по пространственной координате;
- в) явная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате;
- г) неявная схема второго порядка точности по времени и по пространственной координате.

15. Метод "крупных частиц"

- а) относится к методам расщепления по пространственным координатам;
- б) относится к методам расщепления по физическим процессам;
- в) не относится к методам расщепления.

**Критерии оценивания**

Тест считается пройденным, если даны правильные ответы на 11 из 15 вопросов.

**Информация о разработчиках**

Ушакова Ольга Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры баллистики и гидроаэродинамики ФТФ НИ ТГУ.