

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

**Теория пограничного слоя**

по направлению подготовки

**16.03.01 Техническая физика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Ю.Н. Рыжих

Э.Р. Шрагер

А.Ю. Крайнов

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и инженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований.

ОПК-6 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, аргументировано защищать результаты выполненной работы.

ПК-1 Способен использовать методы математического моделирования тепловых процессов, формулировать задачи компьютерных исследований процессов теплообмена при разработке изделий РКТ.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы естественнонаучных и инженерных дисциплин и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять законы естественнонаучных и инженерных дисциплин и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-6.1 Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, способы обработки и представления данных, системы стандартизации и сертификации

РООПК-6.2 Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

РОПК - 1.1 Знает модели математического описания процессов теплообмена

РОПК - 1.2 Умеет использовать стандартные методики и разрабатывать новые подходы математического моделирования

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

Элементы текущего контроля:

– отчеты о выполнении лабораторных работ.

Примеры заданий лабораторных работ (РООПК 1.1, РООПК 1.2, РООПК 6.1, РООПК 6.2, РОПК 2.1, РОПК 2.2):

1. На рисунке показано тело, расположенное на твердой поверхности, которое горит и можно считать, обладает температурой  $T_w$ , кроме того, тело обтекается потоком воздуха со скоростью  $U_0$ . Необходимо определить поле скоростей и поле температур в рассматриваемой области. Определить изотермические линии вокруг тела. Определить число Нуссельта на горячей поверхности. Показать влияние критериев Прандтля, Рейнольдса и Грасгофа на теплоотдачу. Задачу решить в плоской постановке в безразмерном виде с использованием уравнения переноса вихря, уравнения переноса тепла и уравнения Пуассона для функции тока. Анализ результатов работы представить в виде доклада с презентацией.

2. Рассмотреть закрученное течение в круглой трубе на начальном участке с учетом теплообмена (температура газа на входе в канал  $T_0$ , температура стенок –  $T_1$ ). Угловая скорость вращения трубы  $\omega$ , а значение осевой скорости  $U$ . Решение задачи провести в цилиндрических координатах на основе уравнений переноса вихря, теплоты, окружной скорости и уравнения Пуассона для функции тока в безразмерной форме. Необходимо определить поле скоростей и поле температур в рассматриваемой области. Определить длину циркуляционной зоны, число Нуссельта на стенке канала. Показать влияние

критериев Россби, Прандтля, Рейнольдса на теплоотдачу. Анализ результатов работы представить в виде доклада с презентацией.

3. Осуществить численное решение задачи в плоской трубе с поворотом на 90 градусов холодной жидкостью, причем, нижняя стенка греется с условием постоянства плотности теплового потока, верхняя же теплоизолирована. Скорость жидкости во входном сечении равняется  $U_0$ . Задачу решить в безразмерном виде с использованием уравнения переноса вихря, уравнения переноса тепла и уравнения Пуассона для функции тока. Показать влияние длины отрывной области в зависимости от числа  $Re$ . Провести анализ поля скоростей и изотермических линий в зависимости от критериев Прандтля, Рейнольдса и Грасгофа. Анализ результатов работы представить в виде доклада с презентацией.

4. Определить поле температур и скоростей в плоской каверне с движущейся верхней стенкой (скорость  $U_0$ ). Горизонтальные стенки теплоизолированы, вертикальные имеют разные значения температуры. Необходимо определить поле скоростей и поле температур в рассматриваемой области в зависимости от отношения сторон вертикальной и горизонтальной стенок, а также показать влияние критериев грасгофа, Прандтля, Рейнольдса. Определить локальные числа Нуссельта на вертикальных стенках.

Критерии оценивания: Результаты лабораторной работы оцениваются баллами от 2 до 5. 5 баллов – ответы в отчете на задание лабораторной работы приведены в полном объеме, с правильной терминологией изучаемой дисциплины, логичны в изложении.

4 балла – ответы в отчете на задание лабораторной работы приведены не в полном объеме, ответы содержат незначительные ошибки, есть незначительные ошибки в терминологии.

3 балла – ответы в отчете на задание лабораторной работы содержат значительные ошибки, есть ошибки в терминологии.

2 балла, неудовлетворительная оценка, ответы содержат значительные ошибки, есть грубые ошибки в терминологии или отчет по лабораторно-практической работе не представлена к проверке.

3-5 баллов – «зачтено», 2 балла – «не зачтено».

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

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Допуском к экзамену является сдача отчетов по всем лабораторным работам, которые формируют компетенции (РООПК 1.1, РООПК 1.2, РООПК 6.1, РООПК 6.2, РОПК 2.1, РОПК 2.2). Билет содержит два теоретических вопроса.

Примеры теоретических вопросов (РООПК 1.1, РООПК 1.2, РООПК 6.1, РООПК 6.2, РОПК 2.1, РОПК 2.2):

1. Вывод уравнения неразрывности.
2. Вывод теоремы импульсов (интегральное соотношение Кармана).
3. Составление нестационарных трехмерных уравнений пограничного слоя.
4. Управление пограничным слоем.
5. Свободная, естественная конвекция.
6. Вывод уравнений Навье-Стокса.
7. Подобные решения уравнений пограничного слоя.
8. Спутное течение позади плоской пластины, обтекаемой в продольном направлении.
9. Вывод уравнения Гельмгольца-Фридмана.
10. Вопросы гидродинамики и теплопереноса реологически сложных жидкостей.

Критерии оценивания:

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

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы без ошибок.

Оценка «хорошо» выставляется, если даны правильные ответы на вопросы, но имеются неточности в определении физических величин, неточности в выводе теорем или другие неточности, не меняющие сущность рассматриваемой проблемы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если имеются затруднения при ответе на один из вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если имеются затруднения по обоим вопросам, не правильно формулируются основные положения теории и т.д.

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

Теоретические вопросы (РООПК 1.1, РООПК 1.2, РООПК 6.1, РООПК 6.2, РОПК 2.1, РОПК 2.2):

1. Определение «толщины потери импульса» и «толщины вытеснения» и их физический смысл.
2. Причина происхождения отрыва пограничного слоя.
3. В каком соотношении находятся динамическая и тепловая толщины пограничного слоя.
4. Явление плавучести.
5. Ротор скорости и его физический смысл.
6. Условия однозначности для уравнения переноса тепла.
7. Влияние на теплообмен температурного фактора.
8. Определение «пи» теоремы.
9. Гипотеза Прандтля о пограничном слое.
10. Понятие напряжения в механике жидкостей и газов.

Критерии оценивания: считается выполненным, если дан верный ответ на 1 теоретический вопрос (исчерпывающий и/или с небольшими неточностями).

#### **Информация о разработчиках**

Шваб Александр Вениаминович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедры прикладной аэромеханики физико-технического факультета, профессор.