# Комплект оценочных материалов по дисциплине «Динамика вязкого газа»

### Задания закрытого типа

#### Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Что утверждает обобщенная гипотеза Ньютона:

А) напряжения в жидкости пропорциональны скорости деформации

Б) напряжения в жидкости пропорциональны скорости

В) напряжения в жидкости пропорциональны давлению

Г) напряжения в жидкости постоянны

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Выберите один правильный ответ

Какой критерий подобия характеризует отношение сил инерции к силам вязкости:

А) число Эйлера

Б) число Фруда

В) число Рейнольдса

Г) число Струхаля

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Выберите один правильный ответ

Что такое осреднение Рейнольдса:

А) усреднение уравнений Навье-Стокса по пространству

Б) усреднение уравнений Навье-Стокса по времени В) объём, заполненный вихревыми линиями

В) усреднение уравнений Навье-Стокса по скорости

Г) усреднение уравнений Навье-Стокса по давлению

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Выберите один правильный ответ

Какова основная цель использования гипотез о турбулентных напряжениях:

А) упростить уравнения Рейнольдса

Б) замкнуть уравнения Рейнольдса, выразив турбулентные напряжения через известные величины

В) увеличить точность решения уравнений Рейнольдса

Г) получить аналитическое решение уравнений Рейнольдса

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

**Задания закрытого типа на установление соответствия**

1. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Число Рейнольдса (Re) | А) | Отношение сил инерции к силам тяжести |
| 2) | Число Эйлера (Eu) | Б) | Отношение сил инерции к силам давления |
| 3) | Число Фруда (Fr) | В) | Отношение сил инерции к силам вязкости |
| 4) | Число Струхаля (St) | Г) | Отношение локальной скорости изменения течения к конвективной скорости |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В | Б | А | Г |

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Гипотеза Буссинеска | А) | Использует алгебраические соотношения для определения турбулентной вязкости |
| 2) | Модель длины перемешивания Прандтля | Б) | Использует два уравнения переноса для турбулентной кинетической энергии и скорости диссипации турбулентной энергии |
| 3) | k-ε модель | В) | Вводит понятие турбулентной вязкости и выражает турбулентные напряжения через градиенты осредненной скорости |
| 4) | Алгебраические модели турбулентности | Г) | Вводит понятие длины перемешивания и выражает турбулентные напряжения через квадрат градиента осредненной скорости |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В | Г | Б | А |

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Пограничный слой | А) | Расстояние, на которое необходимо сместить твердую поверхность, чтобы внешний поток испытывал такое же влияние, как и из-за наличия пограничного слоя | |
| 2) | Толщина пограничного слоя | Б) | Тонкий слой жидкости вблизи твердой поверхности, где вязкость играет существенную роль | |
| 3) | Толщина вытеснения | В) | Характеризует потерю импульса в пограничном слое из-за действия вязкости | |
| 4) | Толщина потери импульса | Г) | Расстояние от стенки, на котором скорость достигает некоторого значения, близкого к скорости внешнего потока (например, 99%) | |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Б | Г | А | В |

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Функция тока | А) | Сумма потенциала скорости и функции тока, представленная в виде функции комплексного переменного |
| 2) | Гидродинамическая сетка | Б) | Плоский потенциальный поток, характеризующийся расхождением жидкости из одной точки |
| 3) | Комплексный потенциал | В) | Совокупность линий тока и линий равного потенциала |
| 4) | Источник | Г) | Скалярная функция, линии уровня которой совпадают с линиями тока |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Г | В | А | Б |

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

#### Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

*Запишите правильную последовательность действий при решении задачи в буквенном обозначении слева направо.*

1. Установите правильную последовательность этапов развития отрыва пограничного слоя при наличии неблагоприятного градиента давления:

А) возникновение обратного течения вблизи стенки

Б) увеличение толщины пограничного слоя

В) уменьшение касательного напряжения на стенке

Г) отделение пограничного слоя от поверхности

Правильный ответ: Б, В, А, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Установите правильную последовательность слоев турбулентного пограничного слоя в порядке удаления от поверхности стенки:

А) логарифмическая область

Б) вязкий подслой (ламинарный подслой)

В) переходная область (буферный слой)

Г) внешняя часть пограничного слоя

Правильный ответ: Б, В, А, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Установите правильную последовательность этапов применения интегрального соотношения Кармана для решения задачи о пограничном слое:

А) выбор профиля скорости в пограничном слое

Б) подстановка профиля скорости в интегральное соотношение Кармана

В) решение полученного дифференциального уравнения относительно толщины пограничного слоя

Г) определение касательного напряжения на стенке

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Установите правильную последовательность этапов решения задачи турбулентного течения с использованием k-ε модели:

А) решение уравнений Рейнольдса с учетом турбулентной вязкости

Б) решение уравнений переноса для турбулентной кинетической энергии (k) и скорости диссипации (ε)

В) определение турбулентной вязкости на основе значений k и ε

Г) постановка граничных условий для k и ε

Правильный ответ: Г, Б, В, А

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

### Задания открытого типа

#### Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Согласно обобщенной гипотезе Ньютона, напряжения в жидкости пропорциональны \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: скорости деформации.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Жидкость, в которой касательные напряжения линейно зависят от скорости сдвига, называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: ньютоновской.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Турбулентное движение характеризуется хаотическими \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ скорости и давления.

Правильный ответ: пульсациями.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Осреднение Рейнольдса заключается в усреднении уравнений Навье-Стокса по \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: времени.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

#### Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Ньютоновская жидкость – это жидкость, в которой касательные напряжения линейно зависят от\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: скорости сдвига / градиента скорости**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Число Рейнольдса характеризует отношение сил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: инерции к силам вязкости.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Согласно гипотезе Буссинеска, турбулентные напряжения пропорциональны градиенту осредненной скорости с коэффициентом пропорциональности, называемым \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: турбулентной вязкостью / вихревой вязкостью.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Толщина вытеснения характеризует влияние пограничного слоя на \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: внешний поток / ядро потока**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

#### Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Уравнения Навье-Стокса в безразмерной форме:

Даны характерные масштабы: длина L, скорость U, давление p.

Требуется представить уравнения Навье-Стокса для несжимаемой ньютоновской жидкости в безразмерной форме.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости:

.

Запишем переменные, входящие в уравнение через безразмерные параметры, обозначая безразмерность волнистой линией сверху:

, , , , , , , , , .

Подставим в исходное уравнение полученные выражения для переменных:

.

Разделим все члены на :

.

Перепишем уравнение в критериальной форме:



Ответ: .

Критерии оценивания:

– нахождение уравнения Навье-Стокса для несжимаемой ньютоновской жидкости в безразмерной форме.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

2. Турбулентные напряжения и гипотеза Буссинеска:

Получите уравнения Рейнольдса для течения несжимаемой жидкости. Объясните, почему эти уравнения не замкнуты. Используйте гипотезу Буссинеска, чтобы выразить турбулентные напряжения через осредненные скорости.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Представим мгновенные значения скорости и давления как сумму осредненных и пульсационных составляющих:

u = <u> + u', v = <v> + v', w = <w> + w'

p = <p> + p'

Подставим эти выражения в уравнения Навье-Стокса и усредним по времени (или по ансамблю).

В результате усреднения получим уравнения Рейнольдса:

Уравнение неразрывности: ∂<u>/∂x + ∂<v>/∂y + ∂<w>/∂z = 0

Уравнения движения (например, для оси x): ρ(∂<u>/∂t + <u>∂<u>/∂x + <v>∂<u>/∂y + <w>∂<u>/∂z) = -∂<p>/∂x + μ(∂²<u>/∂x² + ∂²<u>/∂y² + ∂²<u>/∂z²) - ρ(∂<u'u'>/∂x + ∂<u'v'>/∂y + ∂<u'w'>/∂z)

Члены -ρ<u'u'>, -ρ<u'v'>, -ρ<u'w'> представляют собой турбулентные напряжения, возникающие из-за пульсаций скорости.

Уравнения Рейнольдса не замкнуты, потому что в них появляются новые неизвестные – турбулентные напряжения. Для их определения требуется ввести дополнительные соотношения.

Согласно гипотезе Буссинеска, турбулентные напряжения пропорциональны градиенту осредненной скорости:

-ρ<u'v'> = μt (∂<u>/∂y + ∂<v>/∂x)

-ρ<u'u'> = 2μt ∂<u>/∂x - (2/3)ρk

-ρ<v'v'> = 2μt ∂<v>/∂y - (2/3)ρk

-ρ<w'w'> = 2μt ∂<w>/∂z - (2/3)ρk,

где μt - турбулентная вязкость, а k = (1/2)(<u'²> + <v'²> + <w'²>) - турбулентная кинетическая энергия.

Подставляя эти выражения в уравнения Рейнольдса, можно получить замкнутую систему уравнений. Однако, теперь необходимо определить турбулентную вязкость μt, для чего используются различные модели турбулентности (например, k-ε модель).

Гипотеза Буссинеска позволяет выразить турбулентные напряжения через осредненные скорости, замыкая уравнения Рейнольдса. Однако, для определения турбулентной вязкости требуются дополнительные модели турбулентности.

Ответ: Проекция на ось х: ρ(∂<u>/∂t + <u>∂<u>/∂x + <v>∂<u>/∂y + <w>∂<u>/∂z) = -∂<p>/∂x + μ(∂²<u>/∂x² + ∂²<u>/∂y² + ∂²<u>/∂z²) - 2μt ∂<u>/∂x - (2/3)ρk + μt (∂<u>/∂y + ∂<v>/∂x) + μt (∂<u>/∂y + ∂< w >/∂x).

Критерии оценивания:

– нахождение уравнения Рейнольдса;

– нахождение выражения для турбулентных напряжений через гипотезу Буссинеска;

– нахождение выражения уравнений Рейнольдса с записью турбулентных напряжений через гипотезу Буссинеска.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

3. Ламинарный пограничный слой на плоской пластине:

Выведите уравнения Прандтля для ламинарного пограничного слоя на плоской пластине. Объясните, какие упрощения сделаны по сравнению с уравнениями Навье-Стокса.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем исходные уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости и замкнем их при помощи уравнения неразрывности:

∂u/∂x + ∂v/∂y = 0

u∂u/∂x + v∂u/∂y = - (1/ρ)∂p/∂x + ν(∂²u/∂x² + ∂²u/∂y²)

u∂v/∂x + v∂v/∂y = - (1/ρ)∂p/∂y + ν(∂²v/∂x² + ∂²v/∂y²),

где ν = μ/ρ - кинематическая вязкость.

Предположим, что толщина пограничного слоя мала: δ << L, где L - характерный размер. Поперечная скорость v мала по сравнению с продольной скоростью u. Продольные изменения скорости малы по сравнению с поперечными изменениями.

Используя эти предположения, проводим масштабный анализ членов в уравнениях Навье-Стокса. Например, если u ~ U, x ~ L, y ~ δ, то v ~ Uδ/L.

В результате масштабного анализа и отбрасывания малых членов, получим уравнения Прандтля:

∂u/∂x + ∂v/∂y = 0

u∂u/∂x + v∂u/∂y = - (1/ρ)∂p/∂x + ν∂²u/∂y²

∂p/∂y ≈ 0 => p ≈ p(x) (давление постоянно по толщине пограничного слоя)

Уравнения Прандтля являются упрощением уравнений Навье-Стокса для тонкого пограничного слоя. Основные упрощения: пренебрежение продольной вязкостью (∂²u/∂x² << ∂²u/∂y²) и допущение о постоянстве давления по толщине пограничного слоя.

Ответ:

∂u/∂x + ∂v/∂y = 0

u∂u/∂x + v∂u/∂y = - (1/ρ)∂p/∂x + ν∂²u/∂y².

Критерии оценивания:

– нахождение уравнений Прандтля для плоского пограничного слоя.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1

4. Интегральное соотношение Кармана:

Требуется вывести интегральное соотношение Кармана для ламинарного пограничного слоя.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем уравнения Прандтля:

∂u/∂x + ∂v/∂y = 0

u∂u/∂x + v∂u/∂y = - (1/ρ)dp/dx + ν∂²u/∂y²

Проинтегрируем оба уравнения по координате y от стенки (y=0) до внешней границы пограничного слоя (y=δ).

∫₀δ (∂u/∂x + ∂v/∂y) dy = ∫₀δ ∂u/∂x dy + ∫₀δ ∂v/∂y dy = 0

d/dx ∫₀δ u dy - uδ dδ/dx + v(δ) - v(0) = 0

Учитывая, что v(0) = 0 и u(δ) = U(x) (скорость внешнего потока), получаем:

v(δ) = - d/dx ∫₀δ u dy + U(x) dδ/dx

∫₀δ (u∂u/∂x + v∂u/∂y) dy = - (1/ρ) ∫₀δ (dp/dx) dy + ν ∫₀δ ∂²u/∂y² dy ∫₀δ u∂u/∂x dy + ∫₀δ v∂u/∂y dy = - (δ/ρ) dp/dx + ν (∂u/∂y|δ - ∂u/∂y|₀)

После преобразований с использованием интегрирования по частям, уравнения неразрывности и граничных условий, получим:

d/dx ∫₀δ u² dy - U(x) d/dx ∫₀δ u dy = - (δ/ρ) dp/dx - ν (∂u/∂y|₀)

Обозначим касательное напряжение на стенке как τw = μ (∂u/∂y|₀) = ρν (∂u/∂y|₀)

Толщина потери импульса: δ\*\* = ∫₀∞ (u/U)(1 - u/U) dy ≈ ∫₀δ (u/U)(1 - u/U) dy

Толщина вытеснения: δ\* = ∫₀∞ (1 - u/U) dy ≈ ∫₀δ (1 - u/U) dy

Подставляя эти определения в полученное уравнение, получим интегральное соотношение Кармана: d/dx (U²δ\*\*) + δ\*U dU/dx = τw/ρ

Интегральное соотношение Кармана связывает интегральные характеристики пограничного слоя (толщину потери импульса, толщину вытеснения) с касательным напряжением на стенке и градиентом давления. Оно является приближенным, но полезным инструментом для анализа пограничного слоя.

Ответ: d/dx (U²δ\*\*) + δ\*U dU/dx = τw/ρ

Критерии оценивания:

– нахождение выражения для интегрального соотношения Кармана.

Компетенции (индикаторы): ОПК2, ПК-1