

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Моделирование процессов гидрогазодинамики**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                             |
|--|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец                                           | Осипов С.К.                 |
|  | Идентификатор                                      | R06dc7f87-OsipovSK-e84c9a91 |

С.К. Осипов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец                                           | Рогалев А.Н.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b |

А.Н.  
Рогалев

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|  |                                                    |                              |
|--|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец                                           | Рогалев А.Н.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b |

А.Н.  
Рогалев

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники

ИД-1 Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-1 (Контрольная работа)
2. КМ-2 (Контрольная работа)
3. КМ-3 (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-4 (Тестирование)

## БРС дисциплины

### 5 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 КМ-1 (Контрольная работа)  
КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)  
КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа)  
КМ-4 КМ-4 (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Раздел дисциплины                                                                            | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                                              | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                                                              | Срок КМ:                        | 4    | 6    | 8    | 9    |
| Теоретические основы моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках   |                                 |      |      |      |      |
| Основные характеристики гидрогазодинамических процессов в элементах энергетических установок |                                 | +    | +    | +    |      |
| Теоретические основы ламинарных и турбулентных течений                                       |                                 | +    | +    | +    |      |

|                                                                                   |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Численное моделирование процессов гидрогазодинамики в энергетических установках   |    |    |    |    |
| Методы моделирования гидрогазодинамических процессов                              |    | +  | +  | +  |
| Алгоритм проведения моделирования гидрогазодинамических процессов, основные этапы |    | +  | +  | +  |
| Вес КМ:                                                                           | 15 | 30 | 45 | 10 |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                                                              | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Контрольная точка                                                                                                                                 |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования | <p>Знать:</p> <p>методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок</p> <p>использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов</p> | <p>КМ-1 КМ-1 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 КМ-2 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 КМ-3 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 КМ-4 (Тестирование)</p> |

|  |  |                                             |  |
|--|--|---------------------------------------------|--|
|  |  | газодинамики в<br>энергетических установках |  |
|--|--|---------------------------------------------|--|

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. КМ-1

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут.

#### Краткое содержание задания:

Задание направлено на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

#### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                    | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов гидрогазодинамики в энергетических установках | <p>1. Определите коэффициент потерь энергии в канале с внезапным сужением, расход и число Маха в выходном сечении при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Внутренний диаметр предвключенного канала <math>D_1 = 60</math> мм.</li><li>- Внутренний диаметр канала после сужения <math>D_2 = 27</math> мм.</li><li>- Длина предвключенного участка канала <math>l_1 = 80</math> мм.</li><li>- Длина участка канала после сужения <math>l_2 = 150</math> мм.</li><li>- Число Рейнольдса в канале 40 000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> <p>2. Определите коэффициент потерь энергии в конфузоре, расход и число Маха во входном сечении при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 60</math> мм.</li><li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>= 2</math>.</li><li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha = 16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе 20 °С.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> |

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

## КМ-2. КМ-2

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут.

### Краткое содержание задания:

Задание направлено на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                              | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках | <p>1.Определите путем численного моделирования в периодичной постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре канале, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 40</math> мм.</li><li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>=2</math>.</li><li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha=16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 40000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20^\circ\text{C}</math>.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> <p>2.Определите путем численного моделирования в периодичной постановке коэффициент потерь энергии в конфузоре канале, а также погрешность численного моделирования при следующих исходных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 30</math> мм.</li><li>- Отношение площади входного сечения к выходному <math>=2</math>.</li><li>- Угол сужения конфузора <math>\alpha=16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 45000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20^\circ\text{C}</math>.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыт, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-3. КМ-3**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 45

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут.

**Краткое содержание задания:**

Задание направлено на проверку знаний по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                        | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: применять методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики при проектировании энергетических установок | <p>1.Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в диффузорном канале, погрешность численного моделирования при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Диаметр входного сечения <math>D_0 = 60</math> мм.</li><li>- Отношение площади выходного сечения к входному <math>=2</math>.</li><li>- Угол раскрытия диффузора <math>\alpha=16^\circ</math></li><li>- Число Рейнольдса в канале 50000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20^\circ\text{C}</math>.</li><li>-Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> <p>2.Определите путем численного моделирования коэффициент потерь энергии в канале с внезапным расширением, погрешность численного моделирования при следующих известных данных:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Внутренний диаметр предвключенного канала <math>D_1 = 60</math> мм.</li><li>- Внутренний диаметр канала после расширения <math>D_2 = 90</math> мм.</li><li>- Длина предвключенного участка канала <math>l_1 = 80</math> мм.</li><li>- Длина участка канала после расширения <math>l_2 = 150</math> мм.</li><li>- Число Рейнольдса в канале 40 000.</li><li>- Температура рабочей среды на входе <math>20^\circ\text{C}</math>.</li><li>- Давление на выходе из модели 1 атм</li></ul> |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-4. КМ-4**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант теста. На выполнение теста отводится 15 минут без возможности пользоваться вспомогательным материалом.

**Краткое содержание задания:**

Задание направлено на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                           | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: методы численного моделирования процессов гидрогазодинамики, протекающих в энергетических установках | <p>1. Сила, связанная с перемешиванием различных объемов жидкости, способствующая образованию в потоке структурных неоднородностей:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. сила трения</li> <li>2. сила вязкости</li> <li>3. центробежная сила</li> <li>4. сила инерции</li> </ol> <p>Ответ: 4</p> <p>2. Выражение для силы инерции в потоке:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\rho U</math></li> <li>2. <math>\rho U</math></li> <li>3. <math>\mu U / D</math></li> <li>4. <math>UD / \nu</math></li> </ol> <p>Ответ: 1</p> <p>3. Какой метод численного моделирования течений в каналах энергетического оборудования, наиболее часто используется в инженерной практике:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RANS</li> <li>2. URANS</li> <li>3. DES</li> <li>4. LES</li> </ol> <p>Ответ: 1</p> |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 5 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

Билет №1

1. Классификация гидравлических потерь
2. Типы настроек решателя
3. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемому состоянию со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

| Параметр                                  | Значение      |
|-------------------------------------------|---------------|
| Внутренний диаметр предвключенного канала | $D1 = 60$ мм  |
| Внутренний диаметр канала после сужения   | $D2 = 27$ мм  |
| Длина предвключенного участка канала      | $l1 = 80$ мм  |
| Длина участка канала после сужения        | $l2 = 300$ мм |
| Толщина стенок канала                     | 2 мм          |
| Число Рейнольдса в канале                 | 40 000        |
| Температура рабочей среды на входе        | 20 °С         |
| Давление на выходе из канала              | 1 атм         |

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока

### Процедура проведения

Зачет проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К зачету допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия

## ***1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины***

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования

### **Вопросы, задания**

- 1.Классификация типов гидрогазодинамических течений
- 2.Классификация гидравлических потерь
- 3.Методика определения потерь давления для прямой трубы постоянного сечения и канала с внезапным расширением
- 4.Вязкость в потоках. Касательные напряжения в потоке
- 5.Силы инерции и силы вязкости в потоке. Число Рейнольдса
- 6.Пограничный слой. Профиль скорости. Турбулентные напряжения в потоке
- 7.Переход к турбулентному пограничному слою на плоской пластине
- 8.Отрыв пограничного слоя. Способы предотвращения отрыва потока
- 9.Алгоритм проведения виртуальных гидрогазодинамических экспериментов
- 10.Условия виртуального эксперимента
- 11.Классификация граничных условий
- 12.Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным сужением и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

| Параметр                                  | Значение      |
|-------------------------------------------|---------------|
| Внутренний диаметр предвключенного канала | $D1 = 60$ мм  |
| Внутренний диаметр канала после сужения   | $D2 = 27$ мм  |
| Длина предвключенного участка канала      | $l1 = 80$ мм  |
| Длина участка канала после сужения        | $l2 = 300$ мм |
| Толщина стенок канала                     | 2 мм          |
| Число Рейнольдса в канале                 | 40 000        |
| Температура рабочей среды на входе        | 20 °С         |
| Давление на выходе из канала              | 1 атм         |

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока

13. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

| Параметр                                   | Значение      |
|--------------------------------------------|---------------|
| Внутренний диаметр предвключенного канала  | $D1 = 30$ мм  |
| Внутренний диаметр канала после расширения | $D2 = 70$ мм  |
| Длина предвключенного участка канала       | $l1 = 80$ мм  |
| Длина участка канала после расширения      | $l2 = 250$ мм |
| Толщина стенок канала                      | 2 мм          |
| Число Рейнольдса в канале                  | 50 000        |
| Температура рабочей среды на входе         | 20 °С         |
| Давление на выходе из канала               | 1 атм         |

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока
14. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в канале с внезапным расширением и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

| Параметр                                   | Значение      |
|--------------------------------------------|---------------|
| Внутренний диаметр предвключенного канала  | $D1 = 30$ мм  |
| Внутренний диаметр канала после расширения | $D2 = 70$ мм  |
| Длина предвключенного участка канала       | $l1 = 80$ мм  |
| Длина участка канала после расширения      | $l2 = 200$ мм |
| Толщина стенок канала                      | 2 мм          |
| Число Рейнольдса в канале                  | 70 000        |
| Температура рабочей среды на входе         | 20 °С         |
| Давление на выходе из канала               | 1 атм         |

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии

6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока
15. Провести виртуальный эксперимент по моделированию течения в конфузоре и его напряженно-деформируемого состояния со следующими режимными и геометрическими характеристиками:

| Параметр                                       | Значение          |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Диаметр входного сечения                       | $D1 = 30$ мм      |
| Отношение площади выходного сечения к входному | $=0,39$           |
| Угол сужения конфузора                         | $\alpha=50^\circ$ |
| Длина участка канала до конфузора              | $l1 = 20$ мм      |
| Длина участка канала после конфузора           | $l2 = 100$ мм     |
| Толщина стенок канала                          | 2 мм              |
| Число Рейнольдса в канале                      | 20 000            |
| Температура рабочей среды на входе             | 20 °С             |
| Давление на выходе из канала                   | 1 атм             |

При проведении виртуального эксперимента должно быть выполнено:

1. Определен коэффициент гидравлического сопротивления, оцененный по эмпирическим формулам;
2. Обоснован выбор характеристик расчетной сетки исследуемой модели;
3. Обоснован выбор условий проведения виртуального эксперимента;
4. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в продольном сечении канала;
5. Построены эпюры распределения полного давления и скорости в поперечных сечениях канала, отражающих наличие местных потерь энергии
6. Построено векторное поле скоростей и линии тока в продольном сечении канала;
7. Построены 3D линии тока в канале;
8. Проведен анализ структуры течения в канале;
9. Определен коэффициент гидравлического сопротивления по результатам виртуального эксперимента;
10. Определена погрешность численного моделирования течения в канале;
11. Разработаны рекомендации по корректировке настроек численного моделирования в случае погрешности численного моделирования более 10%.
12. Построена вихревая структура потока

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как называется постановка моделирования физических процессов (гидрогазодинамических, тепломассобменных), позволяющая сократить объем расчетной области:

Ответы:

1. осесимметричная
2. периодичная
3. упрощенная

Верный ответ: 2

2. В каком канале возможно использовать постановку численного моделирования физических процессов, позволяющей сократить на расчетной области:

Ответы:

1. система охлаждения лопатки газовой турбины
2. угловой регулирующий клапан
3. модель канала охлаждения прямоугольного сечения
4. модель канала охлаждения треугольного сечения

Верный ответ: 3

3. При какой симметрии потока в канале круглого сечения возможно использовать упрощенную постановку моделирования:

Ответы:

1. окружная
2. радиальная
3. линейная

Верный ответ: 1

4. В каком из перечисленных каналов возможно использовать упрощенную постановку моделирования:

Ответы:

1. диффузор
2. канал с внезапным расширением
3. конфузор

Верный ответ: 3

5. В каком из конструктивных элементов турбины возможно при моделировании в них течения использовать упрощенную постановку:

Ответы:

1. диафрагменное уплотнение
2. выхлопной патрубок
3. послеотборная ступень

Верный ответ: 1

6. Тип течения, характеризующийся неупорядоченным (хаотичным) движением частиц жидкости:

Ответы:

1. ламинарный
2. турбулентный
3. переходный

Верный ответ: 2

7. Сила, связанная с перемешиванием различных объемов жидкости, способствующая образованию в потоке структурных неоднородностей:

Ответы:

1. сила трения
2. сила вязкости
3. центробежная сила
4. сила инерции

Верный ответ: 4

8. Выражение для силы инерции в потоке:

Ответы:

1.  $\rho U$
2.  $\rho U^2$
3.  $\mu U/D$
4.  $UD/\nu$

Верный ответ: 1

9. Какой диапазон  $u^+$  необходимо использовать при использовании низкорейнольдсовых моделей турбулентности:

Ответы:

1.  $y < 1$
2.  $y < 5$
3.  $y > 30$
4.  $5 < y < 30$

Верный ответ: 2

10. Какой метод численного моделирования течений в каналах энергетического оборудования, наиболее часто используется в инженерной практике

Ответы:

1. RANS
2. URANS
3. DES
4. LES

Верный ответ: 1

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной составляющих.