

**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: Автоматизация технологических процессов в теплоэнергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очно-заочная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Гидрогазодинамика**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Чусов С.И.
	Идентификатор	R4210572c-ChusovSI-7ebcd3e8

С.И. Чусов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мезин С.В.
	Идентификатор	R420ae592-MezinSV-dc40cfee

С.В. Мезин

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Черняев А.Н.
	Идентификатор	R7a97f450-ChernyaevAN-b37575e

А.Н.  
Черняев

## 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. ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ИД-1 Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Выполнение в срок РЗ № 1: "Использование основных уравнений сохранения для расчета параметров при равновесном состоянии и движении несжимаемых жидкостей". (Расчетно-графическая работа)

2. Выполнение в срок РЗ № 2: "Применение теоремы об изменении количества движения для расчета параметров потоков несжимаемой жидкости и определения силового взаимодействия между жидкостью и твердым телом" (Расчетно-графическая работа)

3. Выполнение в срок РЗ № 3: "Расчет параметров течения в сопле Лавалья" (Расчетно-графическая работа)

4. Выполнение в срок РЗ № 4: "Определение силы тяги ВРД летательного аппарата на различных режимах выходного сопла и силы тяги судна при обтекании вертикального вращающегося цилиндра плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости" (Расчетно-графическая работа)

5. Выполнение в срок РЗ № 5: "Течение вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины и по гладкой трубе" (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	14	16
Основные понятия и определения. Основные уравнения сохранения применительно к жидким и газообразным средам						
Основные понятия и определения. Основные уравнения сохранения применительно к жидким и газообразным средам	+	+	+			
Одномерное движение идеальной жидкости. Одномерное до- и сверхзвуковое течение газов в						

каналах произвольной формы					
Одномерное движение идеальной жидкости. Одномерное до- и сверхзвуковое течение газов в каналах произвольной формы		+	+		
Плоские дозвуковые течения идеальной несжимаемой жидкости					
Плоские дозвуковые течения идеальной несжимаемой жидкости				+	
Течение вязкой жидкости					
Течение вязкой жидкости				+	+
Вес КМ:	15	20	20	20	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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
ОПК-4	ИД-1 <sub>опк-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем	<p>Знать:</p> <p>общие законы механики и их математическое выражение применительно к течениям жидкостей и газов</p> <p>особенности движения жидкостей и газов в каналах различной формы</p> <p>особенности течений вязкой жидкости</p> <p>Уметь:</p> <p>рассчитывать возникающие силовые реакции между жидкой (газообразной) средой и твердыми телами</p> <p>рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов во внешних и внутренних течениях</p>	<p>Выполнение в срок РЗ № 1: "Использование основных уравнений сохранения для расчета параметров при равновесном состоянии и движении несжимаемых жидкостей". (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Выполнение в срок РЗ № 2: "Применение теоремы об изменении количества движения для расчета параметров потоков несжимаемой жидкости и определения силового взаимодействия между жидкостью и твердым телом" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Выполнение в срок РЗ № 3: "Расчет параметров течения в сопле Лаваля" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Выполнение в срок РЗ № 4: "Определение силы тяги ВРД летательного аппарата на различных режимах выходного сопла и силы тяги судна при обтекании вертикального вращающегося цилиндра плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости" (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Выполнение в срок РЗ № 5: "Течение вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины и по гладкой трубе" (Расчетно-графическая работа)</p>

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

**КМ-1. Выполнение в срок РЗ № 1: "Использование основных уравнений сохранения для расчета параметров при равновесном состоянии и движении несжимаемых жидкостей".**

**Формы реализации:** Письменная работа

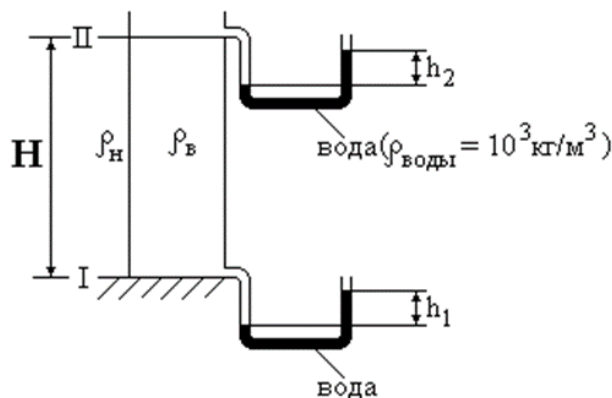
**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В расчетном задании 5 задач. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 5 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично".

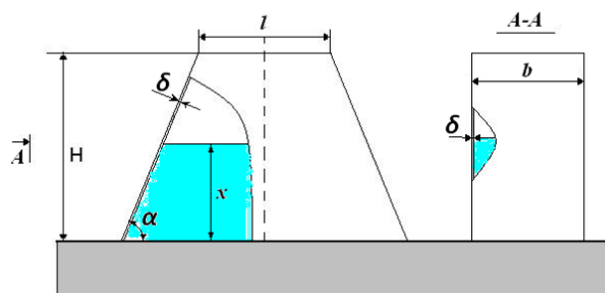
**Краткое содержание задания:**

**Пример:**



**Задача № 1 (10 баллов).**

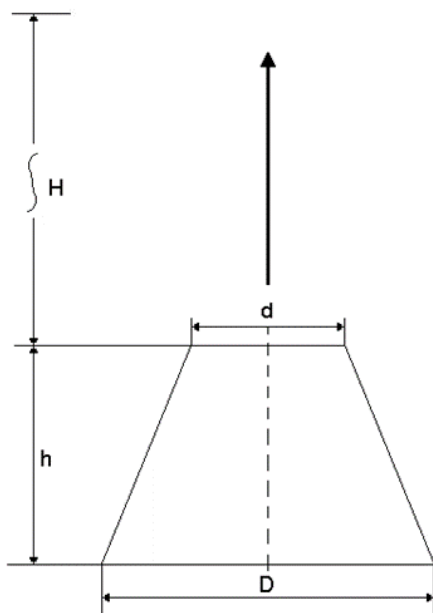
Определить высоту  $h_1$  (в мм. в. ст.) показания дифференциального водяного манометра в I сечении дымовой трубы высотой  $H = (100 + 3N)$  м, если высота показания дифференциального водяного манометра  $h_2 = (20 + 1N)$  мм. в. ст. Плотность воздуха внутри и снаружи трубы равны соответственно  $\rho_v = (1,1 + 0,01N)$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_n = (1,3 + 0,01N)$  кг/м<sup>3</sup> и не меняется по высоте. Скоростью движения газов в трубе пренебречь. Высотой трубок дифференциального водяного манометра пренебречь.



Задача № 2 (25 баллов).

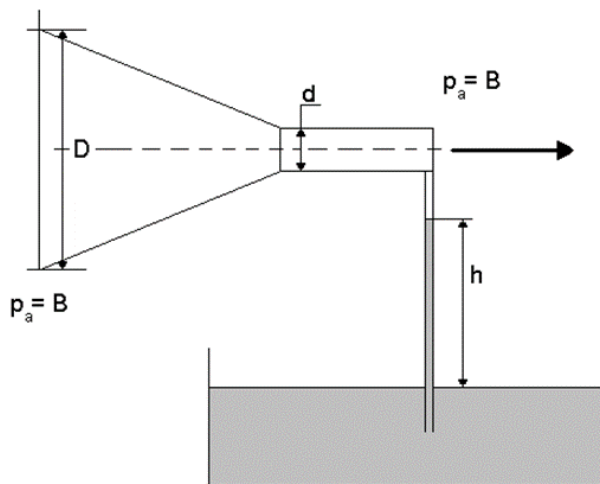
На горизонтальной поверхности установлен пришлифованный сосуд без дна и без крышки. При каком уровне  $x$  его наполнения водой сосуд оторвется от поверхности.

Плотность металла, из которого сделан сосуд  $\rho_m = 7800 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta = 2 \text{ мм}$ ,  $l = (1 + 0,1N_0) \text{ м}$ ,  $H = (5 + 0,1N_0) \text{ м}$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $b = (2 + 0,1N_0) \text{ м}$



Задача № 3 (15 баллов)

Сопло фонтана имеет форму усеченного конуса. Известны диаметры  $d$  и  $D$ , а также высота сопла  $h$ . Вода бьет на высоту  $H$ . Атмосферное давление равно  $B$ . Найти давление в нижнем сечении сопла  $P_D$  и расход  $G$  через сопло. Жидкость считать идеальной, плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ .  $H = (10 + 0,01N) \text{ м}$ ,  $d = (0,01 + 0,001N) \text{ м}$ ,  $D = (0,05 + 0,001N) \text{ м}$ ,  $h = (0,05 + 0,001N) \text{ м}$ ,  $B = 105 \text{ Па}$ .

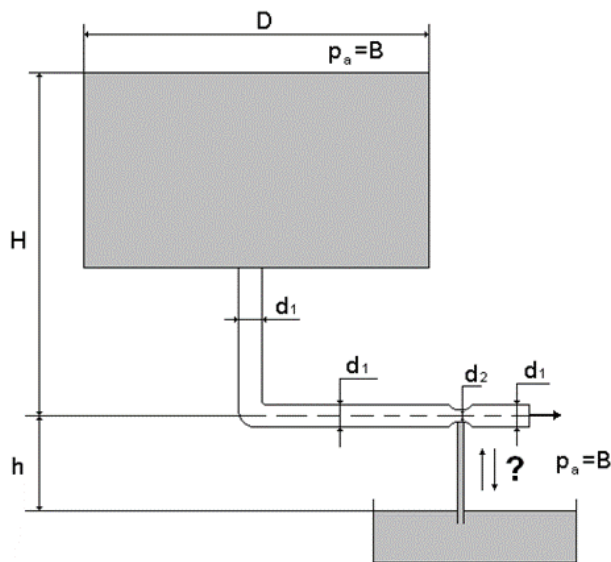


Задача № 4 (20 баллов)

Вентилятор всасывает воздух из атмосферы с давлением  $B$  через сечение с диаметром  $D$  и выбрасывает через сечение, для которого известен диаметр  $d$  и к которому подсоединена трубка, опущенная в сосуд с водой  $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Плотность



воздуха равна  $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Высота, на которую поднялась вода в трубке  $h$ . Найти расход воздуха  $G$  в. Принять  $d \ll D$ , жидкость считать идеальной.  $d = (0,05 + 0,001N) \text{ м}$ ,  $h = (100 + 10N) \text{ мм}$ ,  $B = 105 \text{ Па}$ .



**Задача № 5 (30 баллов)**

Из большого бака диаметром  $D$ , в котором уровень воды  $H$  поддерживается постоянным, через трубу с внутренним диаметром  $d_1$  и местным сужением  $d_2$  вытекает вода. Движение установившееся. В месте сужения труба сообщается при помощи стеклянной трубки высотой  $h$  с баком, в который также налита вода. В стеклянной трубке – вода. Давление над большим и малым баками равно атмосферному  $B=105 \text{ Па}$ . Определить, в каком направлении течет вода в стеклянной трубке. Жидкость считать идеальной,  $d_1 \ll D$ ,  $d_2 \ll D$ , весом столба жидкости  $d_2$  в месте сужения трубы пренебречь.  $H = (180 - 5N) \text{ мм}$ ,  $(d_1/ d_2) = (1,4 - 0,01N)$ ,  $h = (130 + 10N) \text{ мм}$

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: общие законы механики и их математическое выражение применительно к течениям жидкостей и газов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить высоту показания дифференциального водяного манометра в сечении дымовой трубы.</li> <li>2. При каком уровне наполнения водой сосуд оторвется от поверхности?</li> <li>3. Найти давление в нижнем сечении сопла и расход через сопло.</li> <li>4. Найти расход воздуха, всасываемого вентилятором.</li> <li>5. Определить, в каком направлении течет вода в стеклянной трубке.</li> </ol>
--	---

## Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 5 («отлично»), если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов;

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 4 («хорошо»), если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов;

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 3 («удовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов;

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 2 («неудовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов.

## **КМ-2. Выполнение в срок РЗ № 2: "Применение теоремы об изменении количества движения для расчета параметров потоков несжимаемой жидкости и определения силового взаимодействия между жидкостью и твердым телом"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В расчетном задании 3 задачи. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 3 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично".

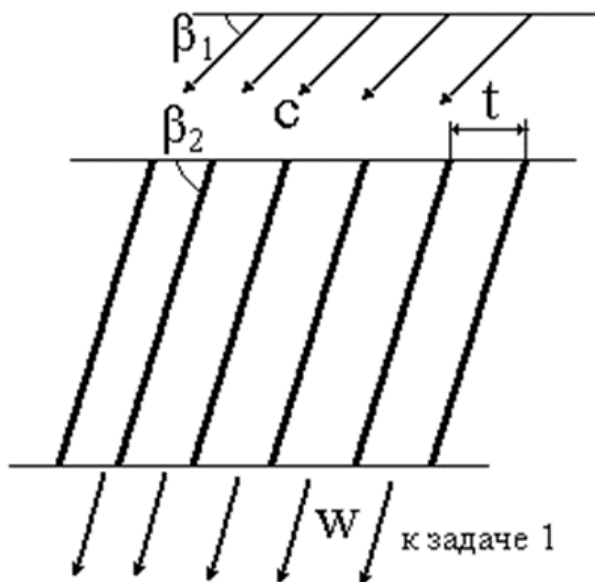
### **Краткое содержание задания:**

**мер:**

Задача № 1 (35 баллов)

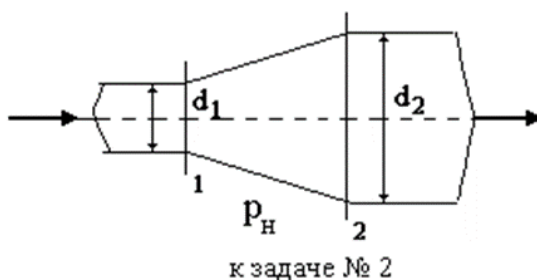
На решетку, составленную из тонких пластин, расстояние между которыми равно  $t$ , набегают со скоростью  $c$  поток несжимаемой жидкости под углом  $\beta_1$ . На острых кромках происходит отрыв потока с образованием вихрей, а затем поток выравнивается и течет между пластин по всему сечению. На выходе поток имеет скорость  $w$ .

Найти коэффициент потери давления  $\zeta$ , определяемый отношением разности давлений за решеткой пластин в случае течения без потерь на вихреобразование  $p_2$  и с потерями  $p_2$  к величине  $0,5\rho c^2$ . Принять  $\beta_1=(40 - N_2)^\circ$ , а  $\beta_2=(60 - N_2)^\circ$ .



Задача № 2 (20 баллов)

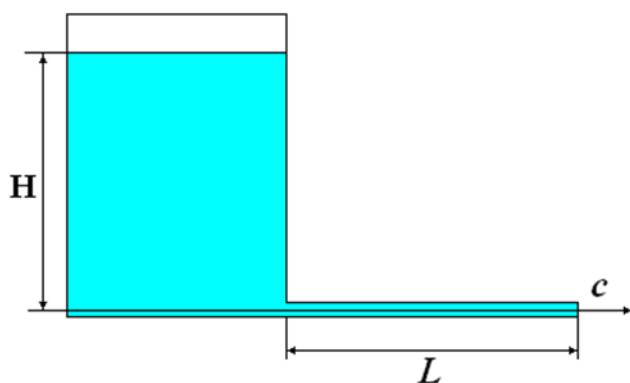
Воздухопровод с  $d_1 = 150$  мм имеет переходный участок конической формы, с помощью которого он соединен с трубой  $d_2 = 300$  мм. Определить величину и направление силы, действующей в осевом направлении на переходный участок при течении воздуха с расходом  $G$ . Давление на входе в переходник  $p_1$ , температура -  $T_1$ . Воздух считать идеальным газом, течение одномерным, сжимаемостью пренебречь. Наружное давление  $p_H = 106$  Па,  $G = (20 - 0,3N_0)$  кг/с,  $p_1 = (9 + 0,1N_0) \times 10^5$  Па,  $T_1 = (300 + 10N_0)$  К.



Задача № 3 (45 баллов)

В открытый большой бак налита вода, уровень которой  $H = (4 + 0,1N)$  м поддерживается постоянным. На глубине  $H$  к баку присоединена горизонтальная трубка длиной  $L = (18 + N)$  м с задвижкой на конце. Задвижка мгновенно открывается, и вода через трубку начинает вытекать в атмосферу. Определить закон изменения скорости истечения на конце трубки в зависимости от времени и найти предельное значение скорости. Определить время, через которое скорость будет равна 50% от максимальной и 99% от максимальной.

Решение дифференциального уравнения дать либо аналитическое, либо в MathCad.



### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: общие законы механики и их математическое выражение применительно к течениям жидкостей и газов</p>	<p>1. Определить закон изменения скорости истечения на конце трубки в зависимости от времени и найти предельное значение скорости. 2. Определить время, через которое скорость будет равна 50% от максимальной и 99% от максимальной.</p>
<p>Уметь: рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов во внешних и внутренних течениях</p>	<p>1. Определить величину и направление силы, действующей в осевом направлении на переходный участок воздухопровода. 2. Найти коэффициент потери давления <math>\zeta</math>, определяемый отношением разности давлений за решеткой пластин, в случае течения без потерь на вихреобразование и с потерями.</p>

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 5 («отлично»), если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов;*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 4 («хорошо»), если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов;*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 3 («удовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов;*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 2 («неудовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов.*

### КМ-3. Выполнение в срок РЗ № 3: "Расчет параметров течения в сопле Лавалья"

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В расчетном задании 5 задач. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 5 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично".

## Краткое содержание задания:

### Пример:

#### Задача № 1 (20 баллов)

Воздух разгоняется в сопле Лавая. Режим течения - расчетный сверхзвуковой. Известно давление полного торможения перед соплом  $p_0 = (1N_0 + 2) \cdot 105$  Па, скорость в выходном сечении  $\lambda_k = (1,4 + 0,02 \cdot N_0)$ . Найти давление на срезе в выходном сечении сопла для расчетного сверхзвукового режима течения и давление  $p_a$  за соплом, при котором в выходном сечении возникает прямой скачок уплотнения. Определить диапазон изменения давления  $p_a$  за соплом, при котором расход через сопло не изменяется.

#### Задача № 2 (20 баллов)

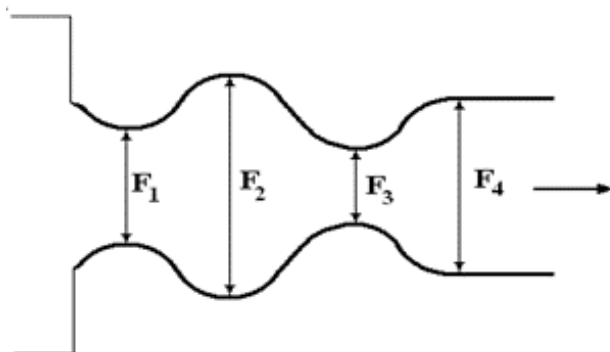
Воздух вытекает через суживающееся сопло из бака большого объема, в котором параметры полного торможения  $T_0 = (300 + 20 \cdot N_0)$  К и  $p_0 = (N_0 + 2) \cdot 105$  Па поддерживаются постоянными. Воздух вытекает из бака в среду, где давление можно изменять. В первом случае оно составляет 80% от  $p_0$ , во втором – 60% от  $p_0$ , в третьем – 40% от  $p_0$ , в четвертом – 20% от  $p_0$ , и в последнем случае истечение происходит в среду, где поддерживается  $p = 0$ . Определить давление на срезе сопла для всех случаев, скорость  $c$  и температуру  $T$  в струе на срезе сопла, считая течение одномерным.

#### Задача № 3 (20 баллов)

Воздух разгоняется в сопле Лавая. Режим течения - расчетный сверхзвуковой. Известно давление за соплом  $p_k = 105$  Па,  $\lambda_k = (1 + 0,03 \cdot N_0)$  в выходном сечении и температура полного торможения перед соплом  $T_0 = (300 + 20 \cdot N_0)$  К. Площадь минимального сечения  $F_{\min} = 2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>. Найти давление полного торможения  $p_0$  на входе в сопло, расход через сопло  $G$  (кг/с) и площадь выходного сечения сопла  $F_k$ .

#### Задача № 4 (20 баллов)

Воздух течет по трубе переменного сечения, вытекая из бака большого объема, параметры полного торможения в котором поддерживаются постоянными. Известно, что в сечении, где достигается максимальная скорость в данном канале, равная  $(200 + 1 \cdot N_0)$  м/с, температура равна  $(300 + 1 \cdot N_0)$  К. Известны также соотношения площадей в канале  $F_1 = 2F_3$ ,  $F_2 = 3F_3$  и  $F_4 = 2,5F_3$ . Найти значения  $\lambda$ ,  $\varepsilon$  и  $\tau$  во всех четырех сечениях. Течение считать одномерным.



#### Задача № 5 (20 баллов)

Параметры воздушного потока  $\lambda_1 = (1,5 + 0,01 \cdot N_0)$ ,  $p_1 = (100 + 10 \cdot N_0)$  кПа,  $T_1 = (300 + 10 \cdot N_0)$ . Найти абсолютное значение скорости потока  $c_1$  и показание трубки Пито, установленной в этом потоке, если перед насадком трубки Пито возникает прямой скачок уплотнения. Найти также давление полного торможения перед скачком. Течение считать одномерным. Среда – воздух.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности движения жидкостей и газов в каналах различной формы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Найти давление на срезе в выходном сечении сопла для расчетного сверхзвукового режима течения и давление за соплом, при котором в выходном сечении возникает прямой скачок уплотнения.</li> <li>2. Найти давление полного торможения <math>p_0</math> на входе в сопло, расход через сопло <math>G</math> (кг/с) и площадь выходного сечения сопла <math>F_k</math>.</li> <li>3. Найти значения <math>\lambda</math>, <math>\varepsilon</math> и <math>\tau</math> во всех четырех сечениях.</li> <li>4. Найти также давление полного торможения скачком уплотнения.</li> </ol>
Уметь: рассчитывать параметры потоков жидкостей и газов во внешних и внутренних течениях	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить давление на срезе сопла для всех случаев, скорость <math>c</math> и температуру <math>T</math> в струе на срезе сопла, считая течение одномерным.</li> <li>2. Найти абсолютное значение скорости потока <math>c_1</math> и показание трубки Пито, установленной в этом потоке, если перед насадком трубки Пито возникает прямой скачок уплотнения.</li> <li>3. Определить диапазон изменения давления за соплом, при котором расход через сопло не изменяется.</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:***Оценка: 5**Нижний порог выполнения задания в процентах: 90**Описание характеристики выполнения знания: – оценка 5 («отлично»), если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов;**Оценка: 4**Нижний порог выполнения задания в процентах: 80**Описание характеристики выполнения знания: – оценка 4 («хорошо»), если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов;**Оценка: 3**Нижний порог выполнения задания в процентах: 60**Описание характеристики выполнения знания: – оценка 3 («удовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов;**Оценка: 2**Описание характеристики выполнения знания: – оценка 2 («неудовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов.*

**КМ-4. Выполнение в срок РЗ № 4: "Определение силы тяги ВРД летательного аппарата на различных режимах выходного сопла и силы тяги судна при обтекании вертикального вращающегося цилиндра плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости"**

**Формы реализации:** Письменная работа**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В расчетном задании 5 задач. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 5 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично".

## Краткое содержание задания:

### Пример:

#### Задача №1(20 баллов)

Ракетный двигатель на высоте 25 км при давлении  $(0,1+0,01N_0) \times 10^5$  Па должен развивать на расчетном режиме тягу в  $(50000+1000N_0)$  Н при давлении и температуре торможения перед выходным соплом  $(20+N_0) \times 10^5$  Па и  $(2700+10N_0)$  К. Определить значения минимальной и выходной площади сопла Лавалю для этого двигателя, а также скорость и расход продуктов сгорания. (Принять для продуктов сгорания  $k = 1,4$ ,  $R = 287$  Дж/кг·К).

#### Задача №2(20 баллов)

Самолет летит со скоростью  $(250+N_0)$  м/с. За бортом давление  $(0,3+0,01N_0) \times 10^5$  Па. На самолете установлено обычное суживающееся сопло с площадью выходного сечения  $(0,015+0,001N_0)$  м<sup>2</sup>. Давление и температура полного торможения перед соплом составляют  $(5+0,1N_0) \times 10^5$  Па и  $(900+10N_0)$  К. Внезапно из-за выхода из строя топливопровода температура снизилась до  $(400+10N_0)$  К. Как и на сколько изменится сила тяги двигателя, если расход воздуха через компрессор составляет  $(20+0,1N_0)$  кг/с. Расходом топлива пренебречь. (Течение считать одномерным. Принять  $k = 1,4$ ;  $R = 287$  Дж/кг·К).

#### Задача №3(20 баллов)

Самолет летит со скоростью  $(250+N_0)$  м/с. Он оснащен соплом Лавалю с неизменяемой геометрией. Параметры полного торможения перед соплом  $p_0 = (6+0,1N_0) \times 10^5$  Па и  $T_0 = (1000+10N_0)$  К. На высоте 10 км при давлении за бортом  $(0,25+0,01N_0) \times 10^5$  Па сопло работает в расчетном режиме. Определить отношение  $F_{\text{вых}} / F_{\text{min}}$  на этом режиме и силу тяги при расходе воздуха через компрессор  $(15+0,1N_0)$  кг/с. Как изменится сила тяги, если при снижении самолета при неизменной температуре полного торможения перед соплом в выходном сечении сопла возникает прямой скачок уплотнения. Расходом топлива пренебречь. (Принять для воздуха  $k = 1,4$ ;  $R = 287$  Дж/кг·К).

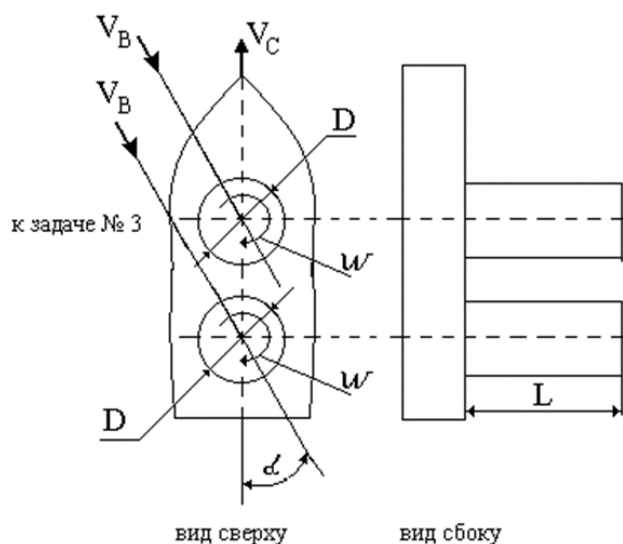
#### Задача №4(20 баллов)

Авиалайнер на высоте 10 км при давлении за бортом  $(0,3+0,01N_0) \times 10^5$  Па развивает скорость  $(235+N_0)$  м/с при силе тяги в  $(50\,000+100N_0)$  Н, обеспечиваемой 2 одинаковыми ТРД с суживающимися соплами с расходом воздуха через каждый в  $(80+N_0)$  кг/с и выходным сечением  $(0,3+0,01N_0)$  м<sup>2</sup>. Расход топлива в каждом двигателе составляет  $(5+0,01N_0)$  кг/с. На выходе из сопел давление равно давлению в окружающей среде, а скорость - критическая. Определить давление и температуру полного торможения перед соплами. Как изменится сила тяги на высоте 12 км, при той же скорости полета, если давление за бортом станет  $(0,25+0,01N_0) \times 10^5$  Па, а параметры полного торможения, расход воздуха и топлива в двигателях не поменяются. (Течение считать одномерным. Принять  $k = 1,4$ ;  $R = 287$  Дж/кг·К).

#### Задача №5(20 баллов)

Определить силу тяги, приводящую судно в движение с заданной скоростью и возникающую при взаимодействии ветра и вращающихся (одинаковых) цилиндров, установленных на судне.\*

Скорость судна  $V_c = (30 + 2N_0)$  км/час, скорость ветра  $V_v = (10 + 0,5N_0)$  м/с, скорость вращения цилиндров  $n = (750 + 0,5N_0)$  об/мин, диаметр цилиндров  $D = (1+0,02N_0)$  м, длина цилиндров  $L = (5+0,1N_0)$  м, плотность воздуха  $\rho_v = (1,21-0,01N_0)$  кг/м<sup>3</sup>, угол между вектором скорости ветра и направлением движения судна  $\alpha = (20+N_0)^\circ$ .



\* Сила тяги имеет направление, совпадающее с вектором скорости  $V_c$ .

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: рассчитывать возникающие силовые реакции между жидкой (газообразной) средой и твердыми телами</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить значения минимальной и выходной площади сопла Лавалья для этого двигателя, а также скорость и расход продуктов сгорания.</li> <li>2. Как и на сколько изменится сила тяги двигателя при снижении температуры?</li> <li>3. Определить отношение <math>F_{\text{вых}} / F_{\text{min}}</math> на этом режиме и силу тяги.</li> <li>4. Как изменится сила тяги, если при снижении самолета при неизменной температуре полного торможения перед соплом в выходном сечении сопла возникает прямой скачок уплотнения?</li> <li>5. Определить давление и температуру полного торможения перед соплами.</li> <li>6. Как изменится сила тяги на высоте 12 км, при той же скорости полета?</li> <li>7. Определить силу тяги, приводящую судно в движение с заданной скоростью и возникающую при взаимодействии ветра и вращающихся (одинаковых) цилиндров, установленных на судне.</li> </ol>
---	--

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 5 («отлично»), если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов;

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 4 («хорошо»), если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов;

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 3 («удовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов;



Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: – оценка 2 («неудовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов.

**КМ-5. Выполнение в срок РЗ № 5: "Течение вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины и по гладкой трубе"**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В расчетном задании 3 задачи. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 3 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично".

**Краткое содержание задания:**

**Пример:**

Задача №1. (40 баллов)

Бесконечный цилиндр радиусом  $r_0 = (1+0,1N_0)$  м, расположенный на плоскости в начале координат, обтекается плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости со скоростью  $U_\infty = (20+0,2N_0)$  м/с,  $p_\infty = 104$  Па и  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>, движущимся вдоль положительного направления оси  $x$  (слева направо).

Цилиндр вращается вокруг своего центра по часовой стрелке (для четных номеров  $N_0$ ) и против часовой стрелки (для нечетных номеров  $N_0$ ) с угловой скоростью  $\omega = (10+0,1N_0)$  1/с.

1. В каких точках контура цилиндра имеет место максимальное давление и максимальная скорость. Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значения скорости и давления в этих точках.
2. Построить схему обтекания цилиндра с указанием соответствующих точек (см. п.1).
3. Определить величину и направление действия подъемной силы. Указать направление силы на схеме (см. п.2)

Задача 2. (30 баллов)

Вода течет по круглой гладкой горизонтальной трубе диаметром  $d = (3000+N_0)$  мм. Массовый расход  $G = (100+100N_0)$  кг/с. Плотность воды принять 103 кг/м<sup>3</sup>, а вязкость воды  $\mu = 10^{-3}$  кг/(м·с).

1. Определить режим течения.
2. Определить падение давления  $\Delta p/l$ .

Задача 3.(30 баллов)

Гладкая пластина шириной  $(1+0,1N_0)$  м под нулевым углом атаки обдувается с одной стороны потоком воздуха с давлением  $p = (1+0,1N_0)105$  Па, температурой  $T = (293+2N_0)$ К и скоростью  $U_\infty = (10+2N_0)$  м/с. Коэффициент динамической вязкости  $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$  кг/(м·с).

1. Определить координату точки перехода от ламинарного течения в пограничном слое к турбулентному ( $Re_{кр} = 5 \times 10^5$ ).
2. Определить толщину  $\delta$  пограничного слоя и суммарную силу трения, действующую на пластину в этом переходном сечении.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: особенности течений вязкой жидкости	1. В каких точках контура цилиндра имеет место максимальное давление и максимальная скорость?
--	---

	<p>Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значения скорости и давления в этих точках.</p> <p>2. Построить схему обтекания цилиндра с указанием точек с максимальным давлением и максимальной скоростью.</p> <p>3. Определить величину и направление действия подъемной силы. Указать направление силы на схеме.</p> <p>4. Определить режим течения в трубе.</p> <p>5. Определить падение давления в трубе.</p> <p>6. Определить координату точки перехода от ламинарного течения в пограничном слое к турбулентному.</p> <p>7. Определить толщину пограничного слоя и суммарную силу трения, действующую на пластину в переходном сечении.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 5 («отлично»), если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов;*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 4 («хорошо»), если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов;*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 3 («удовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов;*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: – оценка 2 («неудовлетворительно»), если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов.*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

<b>МЭИ</b>	<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № XX</b>	<i>Утверждаю</i>
	<b>Кафедра Паровых и газовых турбин им. А.В. Щегляева</b>	<b>Зав. кафедрой</b>
		<b>Дисциплина «Гидрогазодинамика»</b>
	<b>Институт ЭнМИ</b>	<b>20XX г.</b>
<p>1. На входе в сопло Лавалья расположен прямой скачок уплотнения. Входное сечение сопла Лавалья имеет <math>d_1 = 250</math> мм, диаметр минимального сечения <math>d_2 = 200</math> мм. Диаметр на выходе сопла Лавалья <math>d_3 = 300</math> мм. Истечение из сопла Лавалья происходит при расчетном сверхзвуковом режиме в атмосферу с давлением атмосферного воздуха 104 Па и температурой в струе 300 К. Определить скорости и давления на входе в сопло Лавалья, во всех сечениях сопла и расход через сопло. (Течение считать одномерным. Принять <math>k = 1,4</math>; <math>R = 287</math>дж/кг·К) <b>(35 баллов)</b>.</p> <p>2. Рассчитать силу тяги ТРД при движении самолета со скоростью 800 км/ч при внешнем давлении <math>0,4 \times 10^5</math> Па, если расход воздуха через воздухозаборник равен 20 кг/с, а топлива в камере сгорания - 1 кг/с. Двигатель оснащен обычным суживающимся соплом с выходной площадью 0,2 м<sup>2</sup>. Давление и температура полного торможения перед соплом составляют <math>2 \times 10^5</math> Па и 400 К. Определить при заданных параметрах максимальную скорость полета самолета и число Маха при создании тяги только за счет разницы давлений на срезе сопла, если температура за бортом 220 К. (Течение считать одномерным. Принять <math>k = 1,4</math>; <math>R = 287</math>дж/кг·К). <b>(30 баллов)</b>.</p> <p>3. Найти потенциал скорости <math>\phi</math> и функцию тока <math>\psi</math> комплексного потенциала <math>F(z) = F_1(z) + F_2(z)</math>, где <math>F_1(z) = z^2</math>, <math>z = x + iy</math>. Найдите координатные скорости потока и давление на плоскости течения в точке с координатами <math>x = 1</math> м, <math>y = 1</math> м. Принять <math>P_\infty = 1 \cdot 10^4</math> Па, <math>\rho_\infty = 1000</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>c_\infty = 5</math> м/с. <b>(20 баллов)</b>.</p> <p>3б. Бесконечный цилиндр радиусом <math>r_0 = 1</math> м, расположенный на плоскости в начале координат, обтекается плоскопараллельным потоком несжимаемой жидкости со скоростью <math>U_\infty = 20</math> м/с, <math>p_\infty = 104</math> Па и <math>\rho = 1,2</math> кг/м<sup>3</sup>, Движущимся вдоль положительного направления оси <math>x</math> (слева направо). Цилиндр вращается вокруг своего центра по часовой стрелке или против часовой стрелки с угловой скоростью <math>\omega = 10</math> 1/с.</p> <p>Вар 1. В каких точках контура цилиндра имеет место максимальное давление. Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значение давления в этих точках.</p> <p>Вар 2. В каких точках контура цилиндра имеют место максимумы функции скорости. Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значения скорости в этих точках.</p> <p>Вар 3. Определить величину и направление действия подъемной силы. Указать направление силы на схеме. Построить схему обтекания цилиндра <b>(20 баллов)</b>.</p> <p>4. По гладкой горизонтальной трубе с диаметром 150 мм перекачивается вода (<math>\rho = 103</math> кг/м<sup>3</sup>) с расходом 5 л/с. Коэффициент динамической вязкости воды <math>\mu = 1 \cdot 10^{-3}</math> кг/(м·с). Определить падение давления в трубе. <b>(20 баллов)</b>.</p> <p>5. Гладкая пластина шириной 1 м под нулевым углом атаки обдувается с одной стороны потоком воздуха с давлением <math>p = 105</math> Па, температурой <math>T = 293</math>К и скоростью <math>U_\infty = 10</math> м/с. Коэффициент динамической вязкости <math>\mu = 18 \cdot 10^{-6}</math> кг/(м·с). Определить координату точки</p>		

перехода от ламинарного течения в пограничном слое к турбулентному и толщину  $\delta$  пограничного слоя (или) суммарную силу трения, действующую на пластину в этом сечении.  
 Рекр =  $5 \times 10^5$ . (20 баллов)

## Процедура проведения

Экзаменационный билет включает 5 задач. Правильное выполнение каждой задачи соответствует указанному к ней количеству баллов. Правильное выполнение всех 5 задач соответствует 100 баллам или оценке "отлично"

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем

### Вопросы, задания

1. Определить скорости и давления на входе в сопло Лавала, во всех сечениях сопла и расход через сопло.
2. Рассчитать силу тяги ТРД. Определить при заданных параметрах максимальную скорость полета самолета и число Маха при создании тяги только за счет разницы давлений на срезе сопла.
3. В каких точках контура цилиндра имеет место максимальное давление? Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значение давления в этих точках.
4. В каких точках контура цилиндра имеют место максимумы функции скорости? Определить местоположение этих точек на поверхности цилиндра и значения скорости в этих точках.
5. Определить величину и направление действия подъемной силы. Указать направление силы на схеме. Построить схему обтекания цилиндра.
6. Определить падение давления в трубе.
7. Определить координату точки перехода от ламинарного течения в пограничном слое к турбулентному и толщину  $\delta$  пограничного слоя (или) суммарную силу трения, действующую на пластину в этом сечении.

### Материалы для проверки остаточных знаний

#### 1. Что такое число Маха?

Правильно	Ваш	
		отношение статической скорости к скорости звука
		отношение локальной скорости к локальной скорости звука
		отношение локальной скорости к критической скорости
		отношение критической скорости к локальной скорости звука

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: отношение локальной скорости к локальной скорости звука

#### 2. Что такое критическое сечение?

Правильно	Ваш	
		Сечение в котором достигаются параметры полного торможения
		Сечение в котором достигается скорость звука
		Сечение в котором площадь максимальна
		Сечение в котором площадь минимальна

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Сечение в котором достигается скорость звука

**3. Какую энергию потока характеризуют параметры полного торможения?**

Правильно	Ваш	
		статическую энергию
		кинетическую энергию
		полную энергию
		потенциальную энергию

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: полную энергию

**4. Что необходимо для определения параметров полного торможения движущегося потока?**

Правильно	Ваш	
		измерить плотность потока
		изоэнтروпийно затормозить поток
		изоэнтропийно разогнать поток
		измерить статическое давление и статическую температуру

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: изоэнтропийно затормозить поток

**5. Как преобразуется работа трения при движении с трением (вязкостью)?**

Правильно	Ваш	
		Переходит в скорость
		Переходит в давление
		Переходит в теплоту
		Переходит в массу

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Переходит в теплоту

**6. Что такое уравнение Бернулли?**

Правильно	Ваш	
		Уравнение сохранения массы для жидкости, подчиняющейся уравнению состояния Менделеева-Клапейрона
		Уравнение неразрывности для жидкости, подчиняющейся уравнению состояния Менделеева-Клапейрона
		Уравнение сохранения импульса для вязкой идеальной жидкости, подчиняющейся уравнению состояния Менделеева-Клапейрона
		Уравнение сохранения энергии для жидкости, подчиняющейся уравнению состояния Менделеева-Клапейрона

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Уравнение сохранения энергии для жидкости, подчиняющейся уравнению состояния Менделеева-Клапейрона

**7. Что характеризует энтальпия?**

Правильно	Ваш	
		состояние термодинамической системы без учета совершенной ей или над

		ней работы
		состояние термодинамической системы с учетом плотности вихревого потока
		состояние термодинамической системы с учетом совершенной ей или над ней работы
		состояние термодинамической системы без учета совершаемой ей работы

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: состояние термодинамической системы с учетом совершенной ей или над ней работы

**8. Где в канале с переменной площадью сечения может быть достигнута скорость звука?**

Правильно	Ваш	
		На входе в канал
		В выходном сечении
		В минимальном сечении
		В среднем сечении

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: В минимальном сечении

**9. Как изменяется распределение параметров внутри сопла Лавала при снижении давления за соплом, если сопло работает на расчетном режиме?**

Правильно	Ваш	
		Параметры не изменяются
		Давление на срезе сопла растет
		Параметры в критическом сечении уменьшаются
		Давление на срезе сопла уменьшается

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Параметры не изменяются

**10. Как изменяется расход через сопло Лавала при снижении давления за соплом, если сопло работает на расчетном режиме?**

Правильно	Ваш	
		Не изменяется
		Растет
		Уменьшается
		Становится нестационарным (то растет, то уменьшается)

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Не изменяется

**11. Существуют ли в природе скачки разряжения?**

Правильно	Ваш	
		Да
		Нет

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Нет

**12. В какую сторону направлен вектор подъемной силы относительно вектора скорости потока?**

Правильно	Ваш	
		Повернут на $90^\circ$ в сторону знака циркуляции скорости
		Перпендикулярен вектору циркуляции скорости
		Повернут на $90^\circ$ в сторону, противоположную знаку циркуляции скорости
		Параллелен вектору углового ускорения потока

Ответы:

Выберите вариант ответа

Верный ответ: Повернут на  $90^\circ$  в сторону, противоположную знаку циркуляции скорости

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в результате решения всех задач набрано не менее 90 баллов

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в результате решения всех задач набрано не менее 80 баллов

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в результате решения всех задач набрано не менее 60 баллов

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется, если в результате решения всех задач набрано менее 60 баллов

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

Итоговая оценка по дисциплине определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих