

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 14:27:40  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f0

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:  
Руководитель ООП:  
Б.Б.Педько  
«23» августа 2017 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика сплошных сред**

Направление подготовки  
**03.03.03 Радиофизика**

Программа подготовки  
«Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств»

Для студентов 2 курса очной формы обучения

Составитель:  
к.ф.-м.н., доцент  Зубков В.В.

Тверь 2017

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Физика сплошных сред

### **2. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является:

формирование у студентов представлений о методах описания окружающего физического мира в рамках модели сплошной среды.

Задачами освоения дисциплины являются:

1. Изучение математического аппарата механики сплошных сред.
2. Вывод основных законов в рамках модели сплошной среды и их запись в виде математических уравнений.

### **3. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана.

Главной задачей является формирование у студентов представлений о методах описания окружающего физического мира в рамках модели сплошной среды.

Курс служит основой для знакомства и практического применения методов макроскопического подхода к описанию конденсированных систем и газов. Это позволит учащимся проводить теоретические исследования в рамках гидродинамического подхода, теории упругости, а также исследовать электрические и магнитные свойства конденсированных систем как аналитически, так и с использованием численных методов. Для успешного освоения дисциплины необходимо уверенно владеть математическим анализом и линейной алгеброй. Теоретические дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: курсы общей и теоретической физики.

#### 4. Объем дисциплины:

3 зачетные единицы, 108 академических часов, в том числе

**контактная работа:** лекции 38 часов; **самостоятельная работа:** 70 часов.

В учебном плане 2014 года набора –

2 зачетные единицы, 72 академических часов, в том числе

**контактная работа:** лекции 38 часов; **самостоятельная работа:** 34 часов.

#### 5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

<b>Формируемые компетенции</b>	<b>Требования к результатам обучения</b> В результате изучения дисциплины студент должен:
ОПК 1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	<b>Уметь:</b> решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения <b>Знать:</b> основные законы и формулы, типичные алгоритмы решения задач
ПК 3: владеть компьютером на уровне опытного пользователя, применять информационные технологии	<b>Владеть:</b> необходимыми компьютерными программами, необходимыми для решения конкретных проблем физики сплошных сред; <b>Уметь:</b> составлять алгоритмы решения уравнений физики сплошных сред.

В учебном плане 2014 года набора только – ОПК-1

## 6. Форма промежуточной аттестации

Экзамен в 4 семестре

В учебном плане 2014 года набора – зачет в 4 семестре

7. Язык преподавания русский.

## II. Структура дисциплины

### 1. Структура дисциплины для студентов очной формы обучения

Наименование разделов и тем	Всего	Аудиторные занятия		Самостоятельная работа
		лекции	Семинары	
<b>1.Предмет механики сплошных сред.</b> Модель сплошной среды. Математический аппарат, применяемый для описания динамики сплошной среды. Векторные операции, тензоры, элементарные тензорные соотношения.	7	4	-	3
<b>2.Уравнения теории упругости.</b> Понятие о деформации. Тензор поворота и деформации. Температурная деформация. Тензор напряжений. Термодинамика деформации. Закон Гука. Изгиб балок. Кручение валов. Примеры решения задач.	8	4	-	4
<b>3.Фундаментальная система уравнений движения сплошной среды.</b> Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды. Тензор скоростей деформации. Уравнение непрерывности. Уравнение момента импульса сплошной среды. Тензор плотности потока импульса. Уравнение сохранения внутренней энергии. Замкнутая система уравнений движения сплошной среды. Модели сплошных сред.	9	5	-	4
<b>4.Идеальная жидкость.</b> Уравнения движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли. Линии тока и траектории. Трубка тока. Влияние сжимаемости среды. Вихревое движение. Теорема Томсона и Гельмгольца. Потенциальное движение. Парадокс Даламбера. Эффект Магнуса. Кавитация. Формула Жуковского. Примеры решения задач.	8	4	-	4
<b>5.Вязкая жидкость.</b> Уравнение Навье – Стокса. Диссипация кинетической энергии несжимаемой вязкой	7	4	-	3

жидкости. Течение Куэтта. Плоское течение Пуазелья. Медленное обтекание шара.				
<b>6.Турбулентность.</b> Методы подобия и размерности. Ламинарное и турбулентное движение. Сценарии зарождения турбулентности. Уравнение Рейнольдса. Турбулентность атмосферы.	7	4	-	3
<b>7.Газовая динамика.</b> Звук. Скорость звука. Истечение через сопло. Поверхности разрыва. Понятие об ударных волнах. Ударная адиабата. Ударные волны слабой интенсивности. Взрыв.	8	5	-	3
<b>8.Электродинамика сплошных сред.</b> Уравнения Максвелла для сплошной среды. Материальное уравнение линейной электродинамики. Уравнения движения проводящей жидкости в электромагнитном поле. Магнитогидродинамические волны в несжимаемой идеальной жидкости. Волны Альвена. Дисперсионное уравнение. Частотная и пространственная дисперсия. Связь тензора диэлектрической проницаемости с параметрами $\epsilon$ , $\mu$ и $\sigma$ низкочастотного представления. Диссипация энергии волны, её связь со свойствами тензора диэлектрической проницаемости. Энергия и поток энергии волны в среде Свойства симметрии тензора диэлектрической проницаемости в изотропных и зеркально-изомерных средах. Естественная оптическая активность. Одноосные кристаллы, обыкновенные и необыкновенные волны. Эффект Керра. Магнитооптические эффекты (Фарадея, Коттона-Мутона).	18	8	-	10
Экзамен:	36			36
Итого:	108	38	-	70

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- методические рекомендации по организации самостоятельной работы;
- примеры вопросов и задач к экзамену.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса «Физика сплошных сред» могут сдать экзамен по итогам

рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
начальный	<p><i>Задания для проверки сформированности умений:</i></p> <p>Решить задачу: Пусть в декартовых координатах <math>x, y, z</math> дан цилиндр, уравнение поверхности которого имеет вид <math>y^2 + z^2 = 4</math>. Напряжение среды этого цилиндра задано тензором</p> $(\sigma_{\alpha\beta}) = \begin{pmatrix} 3xy & 5y^2 & 0 \\ 5y^2 & 0 & 2z \\ 0 & 2z & 0 \end{pmatrix}$ <p>Найти вектор напряжения в точке <math>P(2, 1, \sqrt{3})</math> на площадке, касательной в этой точке к поверхности цилиндра.</p> <p>Решите задачу: Найти силу сопротивления идеальной</p>	<p><i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i></p> <p>Может записать соотношение <math>e</math>, связывающее вектор напряжения и тензор напряжений.</p> <p>Определяет нормаль к цилиндру в заданной точке. Проводит вычисления и получает ответ.</p> <p>Способен записать</p>	<p><i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i></p> <p>Может записать соотношение <math>e</math>, связывающее вектор напряжения и тензор напряжений.</p> <p>Неуверенно пользуется этим соотношением. Проводит вычисления, направленные на ответ.</p> <p>Способен записать</p>	<p><i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i></p> <p>Помнит, что есть связь между вектором напряжения и тензором напряжений. Записывает с подсказками. Неуверенно пользуется этим соотношением.</p> <p>Способен записать</p>

	<p>жидкости движению в ней шара с ускорением <math>\mathbf{a} = \mathbf{u}</math>, если распределение давления по его поверхности имеет вид <math>p = p_0 + (9 \cos^2 \theta - 5) \rho u^2 / 8 + a_r R \rho</math>. Здесь <math>a_r</math> – проекция ускорения на радиальное направление, <math>\rho</math> – плотность жидкости, <math>R</math> – радиус шара. Сделать вывод.</p>	<p>выражение для силы сопротивления в общем случае. Использует данное в условии выражение для давления и проводит необходимые вычисления. Получает правильное решение и анализирует его.</p>	<p>выражение для силы сопротивления в общем случае. Испытывает затруднения в конкретном случае использования этого выражения. Проводит математические расчеты. Затрудняется сделать качественные выводы.</p>	<p>выражение для силы сопротивления в общем случае. Затрудняется получить математическое выражение для силы в данной задаче.</p>
	<p><b>Задания для проверки сформированности знаний:</b></p>	<p><b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b></p>	<p><b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b></p>	<p><b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b></p>
	<p>Сформулируйте и запишите математическую формулировку закона Гука в общем случае и в случае изотропной среды.</p>	<p>Знает формулировку закона Гука в указанных в задаче двух случаях. Понимает физическое содержание.</p>	<p>Знает формулировку закона Гука только в одном из двух случаев. Понимает физическое содержание.</p>	<p>Знает формулировку закона Гука только в каких-либо частных случаях. Понимает физическое содержание.</p>
	<p>На примере модели идеальной жидкости запишите замкнутую систему уравнений движения сплошной среды.</p>	<p>Знает и правильно записывает систему уравнений. Комментирует полученные формулы, раскрывая их физическое содержание.</p>	<p>Знает и правильно записывает систему уравнений. Испытывает проблемы с пониманием физического содержания.</p>	<p>С ошибками записывает систему уравнений. Испытывает проблемы с пониманием физического содержания.</p>

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК 3: владеть компьютером на уровне опытного пользователя, применять информационные технологии.**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
промежуточный	<b>Задания для проверки сформированности владений:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Решить задачу с помощью программы Maple: Найти поле скоростей при обтекании сферы медленным течением вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса.	Может записать замкнутую систему уравнений с указанием граничных условий для поставленной задачи. Проводит вычисления в Maple, получает правильный ответ и визуализирует поле скоростей.	Может записать замкнутую систему уравнений с указанием граничных условий для поставленной задачи. Неуверенно проводит вычисления в Maple, получая неточный ответ.	Может записать замкнутую систему уравнений в общем случае, но неуверенно записывает их в конкретном случае. Неуверенно вычисления в Maple, получая ошибочный ответ.
	<b>Задания для проверки сформированности умений:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Используя Origin, нарисовать зависимость атмосферного давления от высоты над поверхностью земли.	Знает барометрическую формулу, умеет ее получить в более сложных случаях (неизотерми	Знает барометрическую формулу. Неуверенно табулирует функциональную зависимость в Origin.	Знает барометрическую формулу в частном случае изотермической атмосферы. С большим

		ческой атмосферы, неидеальной газ и др.). Иллюстрирует решение в Origin, проводя необходимый анализ решения.	Иллюстрирует решение в Origin, испытывая трудности с проведением необходимого анализа решения.	трудом табулирует функциональную зависимость в Origin.
--	--	--	--	--

***Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.***

Методические разработки, приведенные на сайте

<https://lms.tversu.ru/courses/204>

#### **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) Основная литература:

1. Черняк В.Г., Суетин П.Е. Механика сплошных сред М., Физматлит, 2006.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=69276&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=69276&sr=1)
2. Учайкин В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. СПб.: Лань, 2017, 860 с. [https://e.lanbook.com/book/91899#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/91899#book_name)
3. Алешкевич В.А., Деденко Л.Г., Караваев В.А. Курс общей физики. Механика. М., Физматлит, 2011  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69337&razdel=257>

б) Дополнительная литература:

1. Александров Д. В. , Зубарев А. Ю. , Искакова Л. Ю. Введение в гидродинамику: учебное пособие. Издательство Уральского университета, 2012, 112 с.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=239521&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=239521&sr=1)
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Механика: М., Физматлит, 2014.

[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=275610&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=275610&sr=1)

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Научная библиотека ТвГУ: <http://library.tversu.ru/>
2. электронная библиотека издательства Лань: <http://e.lanbook.com/>
3. Университетская библиотека ONLINE: <http://www.biblioclub.ru/>
4. Сайт издательского дома ЮРАЙТ: <http://www.biblio-online.ru/>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины – методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.**

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач или освоении теоретического материала с преподавателем.

**– примеры вопросов и задач к экзамену для оценивания знаний, умений, навыков:**

1. Что называется сплошной средой?
2. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошной среды.
3. Пусть дано поле скоростей  $\mathbf{v}(t, \mathbf{r}) = c t \mathbf{r}$ . Найти скорость  $\mathbf{v}(t; \xi)$  в лагранжевых переменных  $\xi$ .
4. Задано поле скоростей в цилиндрической системе координат  $\mathbf{v}(t, r, \varphi, z)$ . Найти поле ускорений.
5. Дано поле скоростей  $\mathbf{v}(t, \mathbf{r}) = (x\mathbf{e}_x + 2y\mathbf{e}_y + 3z\mathbf{e}_z)/(1+t)$ . Показать, что движение жидкости потенциально и найти линии тока.

6. Запишите уравнение непрерывности.
7. Пусть поле скоростей совершающей одномерное движение идеальной жидкости стационарно  $v(t, x) = v(x)$ . Найти плотность  $\rho(x)$ .
8. Масса  $m$  в начальный момент времени равномерно распределена по объёму, ограниченному сферой радиуса  $R$ . Задано поле скоростей  $\mathbf{v}(t, \mathbf{r}) = H(t)\mathbf{r}$ , где  $H(t)$  – известная функция времени. Найти зависимость плотности от координат и времени.
9. Дать определение деформации.
10. Запишите выражение для тензора деформации и укажите физический смысл его компонент.
11. Покажите, что в главных осях тензора деформации относительное изменение объема равно дивергенции вектора смещения.
12. Каков физический смысл компонент тензора внутренних напряжений  $\sigma_{\alpha\beta}$ ?
13. Как выражается вектор напряжения  $\boldsymbol{\sigma}^{(n)}$  в некоторой точке тела через компоненты тензора внутренних напряжений в этой же точке и нормали к поверхности тела в этой точке?
14. Пусть в декартовых координатах  $x, y, z$  дан цилиндр, уравнение поверхности которого имеет вид  $y^2 + z^2 = 4$ . Напряжение среды этого цилиндра задано тензором

$$\sigma_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 3xy & 5y^2 & 0 \\ 5y^2 & 0 & 2z \\ 0 & 2z & 0 \end{pmatrix}$$

Найти вектор напряжения в точке  $P(2, 1, \sqrt{3})$  на площадке, касательной в этой точке к поверхности цилиндра.

15. Как выражается поверхностная сила через тензор внутренних напряжений?
16. Запишите выражение для работы внутренних сил.

17. Запишите основное термодинамическое соотношение для деформируемой среды.
18. Запишите выражение для части энергии Гельмгольца, связанной с деформацией среды.
19. Запишите выражение для закона Гука в общем случае и в случае изотропной среды.
20. Как изменяется закон Гука при учете влияния температуры?
21. Дайте определение однородной деформации.
22. Как определяется модуль Юнга?
23. Что называется коэффициентом Пуассона?
24. Выразите модуль Юнга и коэффициент Пуассона через модуль сдвига и модуль всестороннего сжатия.
25. Нарисовать диаграмму растяжения и отметить её основные области.
26. Однородный брусок, масса которого  $M$ , движется ускоренно под действием силы  $F$ , равномерно распределенной по всему сечению бруска. Найти напряжение, возникающее в результате движения, в произвольном сечении бруска. Длина бруска  $l$ , площадь его поперечного сечения  $S$ .
27. Насколько изменится объём упругого однородного стержня длины  $l$  под влиянием силы  $F$ , сжимающей или растягивающей стержень по его длине? Модуль Юнга и коэффициент Пуассона считать известными.
28. Запишите уравнение равновесия упругого тела в случае сферической симметрии.
29. Найти упругую энергию, запасенную в шаре радиусом  $R$ , имеющем модуль всестороннего сжатия  $K$  и подвергнутом всестороннему давлению  $p$ .
30. Балка в форме параллелепипеда с площадью основания  $a \times a$  и высотой  $b$  поставлена на горизонтальную поверхность. Найти приращение объёма параллелепипеда  $\delta V$  после установления балки на бок. Масса балки  $m$ , модуль Юнга  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ . Деформации балки считать однородными.

31. Колонна Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге имеет высоту  $h = 30$  м. Найдите относительное сжатие колонны под собственным весом. Модуль Юнга гранита  $E = 8.8 \cdot 10^{10}$  Па, плотность  $\rho = 2.7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
32. Коэффициент линейного теплового расширения стали равен  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па. Какое давление необходимо приложить к концам стального цилиндра, чтобы длина его оставалась неизменной при повышении температуры на  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ?
33. Запишите выражение для скорости продольных и поперечных колебаний в сплошной среде.
34. При подвешивании груза массой  $m = 10$  кг струна длиной  $l = 2$  м с площадью поперечного сечения  $S = 0.1$  мм<sup>2</sup> удлиняется на  $\Delta l = 1$  см. Плотность вещества струны  $\rho = 7.8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Найдите продольную скорость звука в струне.
35. Запишите уравнение движения жидкости в форме Эйлера.
36. Запишите уравнение движения среды, используя тензор плотности потока импульса  $\Pi_{\alpha\beta}$ .
37. Запишите закон изменения полной энергии сплошной среды. Дайте определение вектора Умова  $\mathbf{I}$ .
38. Запишите замкнутую систему уравнений движения сплошной среды.
39. Дать определение идеальной жидкости.
40. Запишите закон изменения полной энергии (без учета источников тепла,  $\text{div} \mathbf{q} = 0$ ) для идеальной жидкости.
41. Какое движение жидкости называется баротропным? Примеры баротропного течения.
42. Запишите уравнение Эйлера в форме Громека для изэнтропичного движения жидкости.
43. Какое движение жидкости называется потенциальным, вихревым?
44. В каком случае жидкость можно считать несжимаемой?

45. Запишите интеграл Коши для баротропного потенциального течения. Как будет выглядеть интеграл Коши в случае небаротропного движения?
46. Запишите интеграл Бернулли. Справедлив ли он в случае вихревого движения?
47. На горизонтальной поверхности стола стоит цилиндрический сосуд, в который налита вода до уровня  $H$  (относительно поверхности стола). На какой высоте  $h$  относительно поверхности стола нужно сделать отверстие в боковой стенке сосуда, чтобы струя воды встречала поверхность стола как можно дальше от сосуда? Чему равно это расстояние.
48. Цилиндрический сосуд высотой  $h$  погружён в воду на глубину  $h_0$ . В дне сосуда площадью  $S$  появилось маленькое отверстие площадью  $\sigma$ . Определить время, через которое сосуд утонет.
49. Найти скорость истечения идеального газа в вакуум из объема, в котором давление  $p$  и плотностью газа  $\rho$ .

50. На рис. 1 изображена схема одного из фонтанов Герона. Резервуар  $R_1$ , содержащий воздух и слой воды, соединён трубками с открытым резервуаром

51.  $R_3$ , заполненным водой, и резервуаром  $R_2$ . От резервуара  $R_2$  отходит трубка, из которой бьёт струя фонтана с уровня  $h_4 = 1.55$  м. Уровни воды в резервуарах соответственно равны  $h_1 = 0.25$  м,

$h_2 = 0.95$  м,  $h_3 = 1.35$  м. Найдите величину скорости воды на уровне  $h_4$  и длину струи.

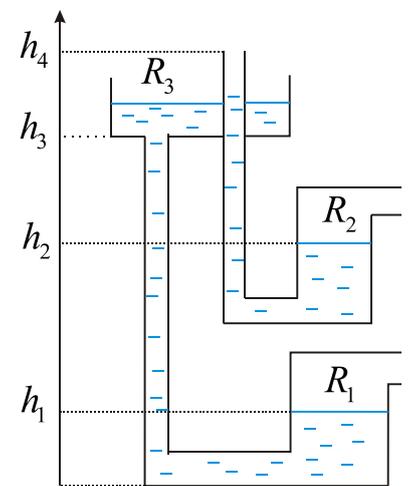
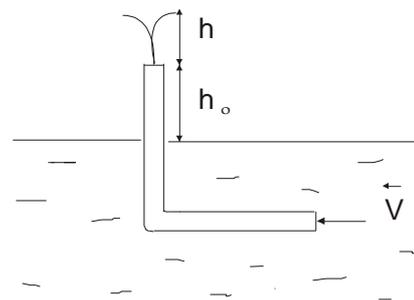


Рис.1

52. Выразить кинетическую энергию безвихревого движения несжимаемой жидкости в односвязном объеме  $E_{кин} = \frac{\rho}{2} \iiint_V \mathbf{v}^2 dV$  через интеграл по границе этого объема – поверхности площади  $S$ . Показать, что если на границе объема жидкость покоится, то единственно возможным безвихревым движением является покой.
53. Дайте определение кавитации. Примеры.
54. Запишите основное уравнение гидростатики идеальной жидкости.
55. Гидростатический парадокс. Его решение.
56. Барометрическая формула.
57. Сформулируйте парадокс Д'Аламбера.
58. Объясните эффект Магнуса.
59. Понятие присоединённой массы. Примеры.
60. Запишите формулу для продольной скорости звука в среде, уравнение состояния для которой имеет вид: а)  $pV = \nu RT$ , б)  $\left(p + \frac{av^2}{V^2}\right)(V - bv) = \nu RT$  (Ван-дер-Ваальса).
61. Найти частоту звука  $\omega$ , воспринимаемого наблюдателем, движущимся со скоростью  $\mathbf{u}$  относительно неподвижного источника звука частоты  $\omega_0$  (эффект Допплера).
62. Запишите тензор внутренних напряжений для вязкой несжимаемой ньютоновской жидкости.
63. Запишите уравнение Навье-Стокса в случае несжимаемой жидкости.
64. Что такое число Рейнольдса? Каков его физический смысл?
65. Сформулируйте закон подобия Рейнольдса.
66. Какое движение жидкости является ламинарным, турбулентным?
67. Вязкая несжимаемая жидкость движется по трубе радиуса  $R$ . Движение ламинарное. Найдите профиль скорости потока жидкости.
68. Запишите формулу Пуазейля для объёмного расхода в случае движения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе.

69. Запишите формулу Стокса для силы сопротивления при медленном движении шара в вязкой несжимаемой жидкости.

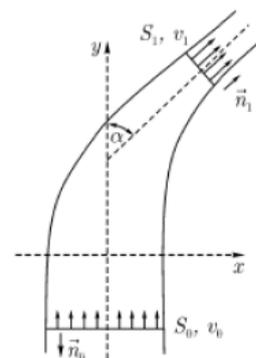
70. Чему равна скорость вытекающей из сосуда жидкости, если учесть скорость снижения уровня воды в сосуде?



71. Струя воды из крана сужается книзу. Выведите формулу для диаметра струи в зависимости от расстояния от крана. Начальная скорость вытекающей воды -  $v_0$ , диаметр отверстия крана -  $D$ .

72. Изогнутую трубку опустили в поток воды как показано на рисунке. Скорость потока  $v = 2.5 \text{ м/с}$ . Закрытый верхний конец имеет небольшое отверстие и находится на высоте  $h_0 = 12 \text{ см}$ . На какую высоту  $h$  поднимется струя воды, вытекающая из отверстия?

73. Стационарный поток жидкости плотностью  $\rho$ , текущий по трубе переменного сечения, поворачивает на угол  $\alpha$  (см. рис.) Входное сечение трубы  $S_0$ , скорость потока на входе  $V_0$ . Какая сила действует на изогнутый участок трубы, если ее выходное сечение равно  $S_1$ ?



74. Найти распределение давления на поверхности сферы радиуса  $R$ , обтекаемой потенциальным потоком идеальной несжимаемой жидкости плотности  $\rho$ , имеющим на бесконечности скорость  $\vec{V}_0$  и давление  $p_0$ . Определить полную силу  $\vec{F}$ , действующую со стороны потока на сферу.

75. Определить поле вихрей скорости в жидкости, вращающейся вокруг вертикальной оси  $OZ$  с угловой скоростью  $\omega$ .

76. Рассмотреть движение двух вихревых нитей.

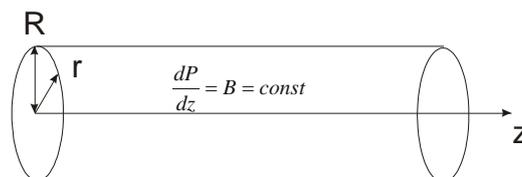
77. Определить движение вязкой несжимаемой жидкости между двумя бесконечными пластинами, находящимися на расстоянии  $H$  друг от друга (течение Куэтта). Верхняя пластина движется со скоростью  $\vec{v}_0$ , нижняя — неподвижна. Найти плотность силы  $f$ , действующей на единицу площади нижней пластины со стороны жидкости.

78. Показать, что для вязкой несжимаемой жидкости, в случае потенциальности внешних сил, вектор угловой скорости частиц

$$\omega = \frac{1}{2} \operatorname{rot} \vec{v} \text{ удовлетворяет уравнению:}$$

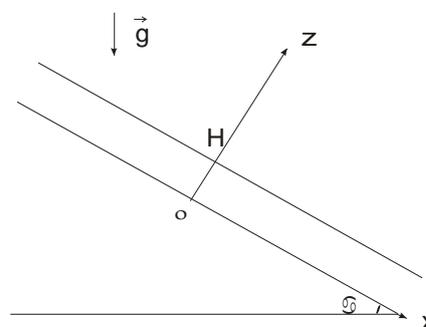
$$\frac{\partial \vec{\omega}}{\partial t} + \operatorname{rot}[\vec{\omega}, \vec{v}] = \nu \Delta \vec{\omega}.$$

79. Определить установившееся движение вязкой несжимаемой жидкости в круговой трубе радиуса  $R$ , которое поддерживается продольным градиентом давления  $\frac{dP}{dz} = B = \text{const}$ , созданным внешними



силами. Исследовать профиль скорости, найти плотность вязкой силы  $f_v$ , действующей на единицу площади трубы стороны протекающей жидкости, среднюю скорость потока  $v_{cp}$  и коэффициент сопротивления  $C_D$ . Определить объем жидкости  $Q$ , протекающей через поперечное сечение трубы в единицу времени (расход жидкости).

80. Слой вязкой несжимаемой жидкости толщины  $H$  ограничен сверху свободной поверхностью, а снизу – неподвижной плоскостью, наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонту. Определить движение жидкости, возникающее под влиянием силы тяжести: найти давление  $p$ , скорость  $v$  и количество жидкости  $Q$ , протекающее в единицу



времени через поперечное сечение слоя (на единицу длины по  $y$ ).

### **VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Лекция-визуализация, проблемное обучение, система поэтапного обучения физике, информационные технологии обучения, модульное структурирование содержания дисциплины.

## IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория № 218 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест.</li> <li>2. Экран настенный 153x203</li> <li>3. Переносной комплект мультимедийной техники.</li> </ol>	<p>Adobe Acrobat Reader DC – бесплатно</p> <p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики,	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</li> <li>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</li> <li>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D</li> <li>4. Видекамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>5. Видекамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> </ol>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009</p> <p>Google Chrome - бесплатно</p> <p>Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>Lazarus 1.4.0 - бесплатно</p> <p>Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно</p> <p>Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC00000027 от 16.09.2011</p>

<p>Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
---	--	--

### Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.