

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра физики неравновесных процессов

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Механика жидкости и газа для аспирантов**  
направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия  
**Курс 2, семестр 3-4**  
профиль  
**Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Форма обучения: **очная**

Разработчик:  
д.ф.-м.н. Н.И. Яворский



---

Заведующий кафедрой ФНП ФФ  
д.ф.-м.н., академик РАН С.В. Алексеенко



---

Новосибирск 2020

## Содержание

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Механика жидкости и газа для аспирантов».....	3
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	3
1.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	5
2.Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	6
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	7
5. Перечень учебной литературы .....	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся..	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	10
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	11
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	11

**Аннотация**  
**к рабочей программе дисциплины**  
**«Механика жидкости и газа для аспирантов»**  
Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**  
**Направленность (профиль): Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Дисциплина «Механика жидкости и газа для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профиль подготовки «Теплофизика и теоретическая теплотехника» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Механика жидкости и газа для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилю подготовки «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

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

**Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Навыки:**

УК-5.3. Владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

**Перечень основных разделов дисциплины:** Кинематика сплошных сред. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики. Модели жидких и газообразных сред. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы. Гидростатика. Движение идеальной несжимаемой жидкости. Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика. Электромагнитные явления в жидкостях. Физическое подобие, моделирование.

Основными задачами, стоящими при изучении данной дисциплины, является углубленное изучение теоретических вопросов современной механики жидкости и газа, развитие практических навыков решения задач в данной области. Особое внимание уделено описанию течений жидкости и газа с доминирующим влиянием диссипативных эффектов, вызванных наличием вязкости. Дается представление об основных методах решения задач, важных для практического использования.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекционные занятия, практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем. самостоятельная подготовка обучающегося, зачет.

Общий объем дисциплины – 5 зачетных единиц (180 часов).

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Механика жидкости и газа для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профиль подготовки «Теплофизика и теоретическая теплотехника» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Механика жидкости и газа для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилю подготовки «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

**Перечень основных разделов дисциплины:** Кинематика сплошных сред. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики. Модели жидких и газообразных сред. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы. Гидростатика. Движение идеальной несжимаемой жидкости. Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика. Электромагнитные явления в жидкостях. Физическое подобие, моделирование.

Основными задачами, стоящими при изучении данной дисциплины, является углубленное изучение теоретических вопросов современной механики жидкости и газа, развитие практических навыков решения задач в данной области. Особое внимание уделено описанию течений жидкости и газа с доминирующим влиянием диссипативных эффектов, вызванных наличием вязкости. Дается представление об основных методах решения задач, важных для практического использования.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекционные занятия, практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем. самостоятельная подготовка обучающегося, зачет.

Общий объем дисциплины – 5 зачетных единиц (180 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Механика жидкости и газа для аспирантов:

Кандидатский экзамен по модулю Теплофизика и теоретическая теплотехника

## 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем					Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий	Самостоятельная работа, не включая период сессии		Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	108	32	6		8	60			2		

4	72	32	6		8	24			2		
ИТОГО	180	64	12		16	84			4		
Всего 180 часов /5 зачетных единиц из них: - контактная работа 96 часов - в интерактивных формах 28 часов											
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2											

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом (в часах)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем /Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>3 семестр</b>										
1.	Вводные положения	1	15	7			8			
2.	Кинематика сплошных сред	2-4	13	5			8			
3.	Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики	5-7	13	5			8			
4.	Модели жидких и газообразных сред	8-10	13	5			8			
5.	Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы	11-12	13	5			8			
6.	Гидростатика	13-16	13	5			8			
7.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	26		6	8	12			
8.	Зачет	17	2							2
9.	Всего по семестру		108	32	6	8	60			2
<b>4 семестр</b>										
1.	Движение идеальной несжимаемой жидкости	1-4	11	8			3			

2.	Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность	5-8	9	6			3			
3.	Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика	9-11	9	6			3			
4.	Электромагнитные явления в жидкостях	12-14	9	6			3			
5.	Физическое подобие, моделирование	15-16	9	6			3			
6.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	22		6	8	8			
7.	Зачет	17	2							2
8.	Всего по семестру		72	32	6	8	24			2
9.	Итого		180	64	12	16	84			4

Теоретический материал курса освещается в ходе лекций. В лекциях обсуждается как необходимый математический аппарат и теоретические аспекты алгоритмов, так и реальные примеры использования обсуждаемых методов из практики наиболее известных экспериментов в мировой науке. В ходе лекций оощряются вопросы слушателей, часть тем обсуждается в форме дискуссий. Материал всех лекций доступен в электронном виде. В ходе лекций широко используются компьютерные демонстрации. На занятиях также заслушиваются доклады обучающихся по заданным темам, сопровождающиеся уточняющими вопросами со стороны преподавателя и других обучающихся. Темы закрепляются в ходе самостоятельной работы обучающегося по решению задач с использованием рекомендованной литературы, а также в процессе научно-исследовательской деятельности

#### Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	16

#### Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельная подготовка к лекционным и практическим занятиям с использованием учебной литературы. Подготовка доклада по избранной теме. Поиск литературных источников, работа с научным текстом, анализ литературных	64

данных.	
Подготовка доклада по одной тем, вынесенных на самостоятельную подготовку	20

## 5. Перечень учебной литературы

### 5.1 Основная литература

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды: [учебник для университетов и вузов: в 2 т.] / Л.И. Седов; Рос. акад. наук 5-е изд., испр Москва: Наука, 1994. 22 см. Т.2.560 с.: ил. ISBN 5-02-007053-X
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов 10-е изд., доп. Москва: Наука, 1987. 430 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Т.6: Гидродинамика Изд. 5-е, стер 2006. 731 с.: ил. ISBN 5-9221-0121-8 (Теоретическая физика: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского Москва: Физматлит, 200 -22 см. ISBN 5-9221-0053-X)
4. Черный Г.Г. Газовая динамика: учебник для студентов высших учебных заведений / Г.Г. Черный Москва: Наука, 1988 424 с: ил.; 22 см. ISBN 5-02-013814-2.
5. Бэтчелор Дж. R/ Введение в динамику жидкости / Дж. Бэтчелор; Пер. с англ. В.П. Вахомчика, А.С. Попова; Под ред. Г.Ю. Степанова М.: Мир, 1973 758 с.

### 5.2 Дополнительная литература

6. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учебник для вузов / Г.Н. Абрамович 4-е изд., перераб Москва: Наука, 1976 888 с.
7. Механика сплошных сред в задачах: [В 2 т.]. Т.1. Теория и задачи. / Г.Я. Галин, А.Н. Голубятников, Я.А. Каменярж и др.; Под ред. М.Э. Эглит М.: Моск. Лицей, 1996. 395 с.: ил. ISBN 5761100827
8. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич Изд. 2-е, доп. и перераб. Москва: Физматгиз, 1959. 699 с.
9. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер 2-е изд., доп. М.: Наука, 1966. 686 с.
10. Уизем Дж. Б. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем; пер. с англ. В.В. Жаринова под ред. А.Б. Шабата Москва: Мир, 1977, 622 с.
11. Физика сплошных сред: учебное пособие для студентов университетов / К.В. Лотов Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002 144 с.: ил.; 20 см. ISBN 5-93972-111-7.

## 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Размещение учебных материалов:

[http://www.itp.nsc.ru/KSITE/right/doc/lectures/Lectures\\_Ilyushin\\_2009.pdf](http://www.itp.nsc.ru/KSITE/right/doc/lectures/Lectures_Ilyushin_2009.pdf)

Самостоятельная работа представлена решением задач из следующих источников:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI).
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.

3. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
4. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.-Ижевск: РХД, 2004.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.
6. Gallovotti G. Foundations of Fluid Mechanics. Rome: University of Rome, 2000.
7. Currie I.G. Fundamental of Fluid Mechanics. New York: McGraw-Hill, 2003.

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

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

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

##### 7.1 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы Springer Journals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных биомедицинских и биологических протоколов SpringerProtocols, коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.
2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы Freedom Collection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II).
6. БД Scopus (Elsevier).

##### 7.2. Информационные справочные системы

Не используются

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

### 10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

#### **Текущий контроль успеваемости:**

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и проверки заданий для самостоятельного решения, презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса. Текущий контроль успеваемости учитывается в рамках промежуточной аттестации.

#### **Промежуточная аттестация:**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

### **Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Механика жидкости и газа для аспирантов**

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
УК-1.	Способность к критическому анализу и оценке	Работа на

<b>современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития.	
УК-5.3	Владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики	

	профиля подготовки и объекта исследования.	
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми и недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	-------------------	--	--	--	---

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Перечень вопросов и задач к зачёту по дисциплине «Механика жидкости и газа для аспирантов».

Вопросы к зачёту.

1. Сформулируйте кинематическую теорему в дифференциальной форме.
2. Сформулируйте кинематическую теорему в интегральной форме.
3. Что такое жидкий объем?
4. Напишите две формы уравнения неразрывности и уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости.
5. Сформулируйте закон сохранения массы в интегральной форме. Как Вы думаете, можно ли этот закон интерпретировать как уравнение баланса?
6. Что такое плотность массовых сил и какова ее размерность?
7. Что такое плотность поверхностных сил и какова ее размерность?
8. Как выражается плотность поверхностных сил через тензор внутренних напряжений?
9. Напишите основное уравнение механики сплошной среды в интегральной форме уравнения баланса импульса (в векторном и тензорном видах).
10. Напишите основное уравнение механики сплошной среды в дифференциальной форме (в векторном и тензорном видах). Каков физический смысл интегрального уравнения баланса импульса?
11. В чем состоит главное следствие уравнения баланса момента количества движения?

12. Напишите уравнение баланса кинетической энергии в интегральном и дифференциальном видах. Чему равна мощность внутренних сил? Каков физический смысл интегрального уравнения баланса кинетической энергии?
13. Чему равен поток кинетической энергии через границу области течения?
14. Как выражается мощность поверхностных сил через тензор внутренних напряжений?
15. Напишите уравнение баланса полной энергии в интегральном и дифференциальном видах. Каков физический смысл интегрального уравнения баланса полной энергии?
16. Напишите уравнение баланса внутренней энергии в интегральном и дифференциальном видах. Каков физический смысл интегрального уравнения баланса внутренней энергии?
17. Чему равен поток внутренней энергии через границу области течения?

18. Докажите, что определитель матрицы  $A$  можно записать в виде

$$|A| = \det A = \epsilon_{ijk} a_{1i} a_{2j} a_{3k}.$$

19. Докажите, что  $\epsilon_{ijk} \frac{\partial x_1}{\partial X_i} \frac{\partial x_2}{\partial X_j} \frac{\partial x_l}{\partial X_k} = 0, \quad l = 1, 2.$

20. Проверьте, что поле скорости от точечного источника массы, задаваемое потенциалом скорости  $\varphi = -Q/4\pi R, (R, \theta, \varphi)$  – сферические координаты,  $Q$  – обильность источника, удовлетворяет уравнению неразрывности для несжимаемой жидкости (3.2.3). Докажите, что  $Q = \int v_n dS$ , где  $S$  – любая сфера, ограничивающая начало координат.

21. \*Чему равен вектор плотности массовых сил инерции (центробежных сил и сил Кориолиса) в системе координат, равномерно вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\Omega$ ?

22. Доказать, что  $\rho \frac{dv_i}{dt} = \frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i v_j}{\partial x_j}.$

23. Провести подробное доказательство, что из условия  $\epsilon_{ijk} P_{jk} = 0$  следует симметричность тензора внутренних напряжений  $P_{kj} = P_{jk}.$

24. Доказать, что  $\rho \frac{dU}{dt} = \frac{\partial \rho U}{\partial t} + \text{div}(\rho U \mathbf{v}).$

25. \*Показать, что если тензор внутренних напряжений можно представить при помощи диагональной матрицы  $P_{jk} = -p \delta_{ij}$ , где  $p$  – давление (это соответствует модели идеальной жидкости), тепловой поток определен согласно закону Фурье  $\mathbf{Q} = -\lambda \nabla T$ , то уравнение баланса внутренней энергии (3.6.5) можно представить в виде

$$\rho \frac{di}{dt} = \text{div}(\lambda \nabla T) + \rho q,$$

где  $i=U+p/\rho$  – энтальпия на единицу массы жидкости.

26. Докажите, что соотношения (4.1.1), (4.1.2) и (4.1.3) эквивалентны.
27. Получите уравнения статики из основного уравнения механики сплошной среды, если тензор внутренних напряжений задан в виде (4.1.3).
28. Доказать, что в случае потенциальных внешних сил изобары, изостеры и изопотенциальные поверхности совпадают.
29. Доказать, что равновесие баротропной жидкости возможно только в поле внешних потенциальных сил. Напишите законы статики.
30. Сформулируйте необходимое условие равновесия. Всегда ли возможно равновесие жидкости? В поле каких внешних сил возможно равновесие жидкости?
31. Как соотносятся между собой различные единицы измерения давления: кПа, атм., мм рт. ст., кг/см<sup>2</sup>, Psi? Выразить через Па.
32. Как распределена плотность произвольной сжимаемой жидкости, расположенной в поле тяжести? (Качественно.)
33. Что такое барометрическая формула? Напишите барометрическую формулу для изотермической атмосферы. Как изменяется с высотой плотность  $\rho(z)$  и энтропия  $s(z)$ ?
34. Почему силы давления на границе двух несмешивающихся жидкостей равны?
35. Сформулируйте закон Архимеда. Почему полностью погруженная в воду подводная лодка, которая легла отдохнуть на илистое дно, не может всплыть, тогда как на поверхности лодка спокойно плавает, хотя погружена в воду частично?
36. Докажите закон Архимеда, используя уравнения статики.
37. Сформулируйте условия плавания тел. Вы измеряете ареометром плотность жидкости. Если налить менее плотную (более плотную) жидкость, как изменится выталкивающая сила?
38. Представьте себе, что у Вас имеется сжимаемое тело. Вы погружаете его в несжимаемую жидкость. Где больше выталкивающая сила – у поверхности или в глубине?
39. Представьте себе, что у Вас имеется несжимаемое тело. Вы погружаете его в сжимаемую жидкость (аэростат). Где больше выталкивающая сила – у поверхности или в глубине?
40. Представьте себе, что у Вас имеется сжимаемое тело. Вы погружаете его в сжимаемую жидкость. Где больше выталкивающая сила – у поверхности или в глубине? От чего зависит ответ?
41. Расскажите, что же в самом деле заставляет жидкость выталкивать тела.

42. Объясните, как работают центрифуга в стиральной машине, сепаратор сливок.
43. Докажите, что результирующая сила, действующая на тело, вращающееся вместе с жидкостью, определяется формулой (4.4.10).
44. Как определить границу раздела двух несмешивающихся жидкостей, находящихся в поле внешних потенциальных сил?
45. Какие линии называются линиями тока?
46. Напишите уравнение линий тока.
47. Какие течения называются стационарными?
48. В каких случаях линии тока и траектории жидких частиц совпадают?
49. Что называется векторной трубкой?
50. Что такое трубка тока?
51. Что такое вихревая линия и вихревая трубка?
52. Дайте определение тензора скоростей деформаций.
53. Сформулируйте теорему Коши-Гельмгольца.
54. Как найти скорость деформационного движения жидкой частицы?
55. Сформулируйте кинематическую теорему Гельмгольца о вихрях.
56. Что такое интенсивность вихревой трубки?
57. Сформулируйте следствие кинематической теоремы Гельмгольца о вихрях.
58. Сформулируйте теорему Кельвина.
59. Как определяется функция тока для плоского течения несжимаемой жидкости?
60. Каков физический смысл функции тока для плоского течения несжимаемой жидкости?
61. Как определяется функция тока для плоского течения сжимаемого газа?
62. Каков физический смысл функции тока для плоского течения сжимаемого газа?
63. Какое течение называется осесимметричным?
64. Как определяется функция тока для осесимметричного течения несжимаемой жидкости в цилиндрических и сферических координатах?
65. Каков физический смысл функции тока для осесимметричного течения несжимаемой жидкости?
66. 1. Дайте определение производной по направлению.
67. 2. Что такое поверхность уровня?
68. 3. Дайте определение вектору градиента функции.
69. 4. Что такое оператор градиента?
70. 5. Дайте определение векторной линии, векторной поверхности, векторной трубки.
71. 6. Что такое линии тока?
72. 7. Напишите уравнение линии тока.

73. 8. Какие течения жидкости называются стационарными?
74. В каком случае траектории жидких частиц и линии тока совпадают?
75. Какие течения жидкости называются потенциальными?
76. Напишите необходимые условия потенциальности течения.
77. Что такое объемный расход?
78. Напишите потенциал поступательного течения жидкости и изобразите линии тока и эквипотенциальные линии.
79. Напишите потенциал гидродинамического источника и изобразите линии тока и эквипотенциальные линии.
80. Напишите потенциал потенциального вихря и изобразите линии тока и эквипотенциальные линии.
81. Являются ли линии тока и эквипотенциальные линии ортогональными в каждой точке жидкости для течений из предыдущих трех вопросов?
82. Что называется потоком вектора  $A$  через поверхность  $S$ ?
83. Что называется циркуляцией вектора  $v$  по замкнутому контуру  $C$ ?
84. Дайте определение дивергенцию вектора.
85. Дайте определение ротора вектора.
86. Напишите оператор дивергенции в декартовой системе координат.
87. Напишите оператор ротора в декартовой системе координат.
88. Сформулируйте соглашение о суммировании по повторяющимся индексам.
89. Определите оператор Лапласа и напишите уравнение Лапласа.
90. Сформулируйте тождества векторного анализа.
91. Сформулируйте теорему Стокса.
92. Сформулируйте теорему Гаусса-Остроградского.
93. Какие величины называются контравариантными?
94. Какие величины называются ковариантными?
95. Как определяется базисный вектор?
96. Сформулируйте законы преобразования ковариантных и контравариантных величин.
97. Что такое вектор?
98. Что такое диада?
99. Что такое тензор второго ранга?
100. Дайте определение полиады.
101. Дайте определение тензора  $n$ -го ранга.
102. Что такое ранг (валентность) тензора?
103. Какие тензоры называются симметрическими?

104. Какие тензоры называются антисимметрическими?
105. Что такое метрический тензор?
106. Как осуществляется жонглирование индексами?
107. Что такое свертка?
108. Какие операции можно производить с тензорами?
109. Что такое антисимметричный тензор Леви-Чивита?
110. Что такое тензорное произведение?
111. Что такое символы Кристоффеля?
112. Напишите ковариантную производную контравариантных компонент вектора.
113. Напишите ковариантную производную ковариантных компонент вектора.
114. Напишите ковариантную производную контравариантных компонент тензора второго ранга.
115. Напишите ковариантную производную ковариантных компонент тензора второго ранга.
116. Каким свойством обладает метрический тензор при ковариантном дифференцировании?

#### Задачи к зачёту

1. В какую сторону отклонятся рычажные весы на рис.11, если вода в сосудах налита до одинакового уровня. Стенки сосудов закреплены неподвижно, дно сосудов – поршни

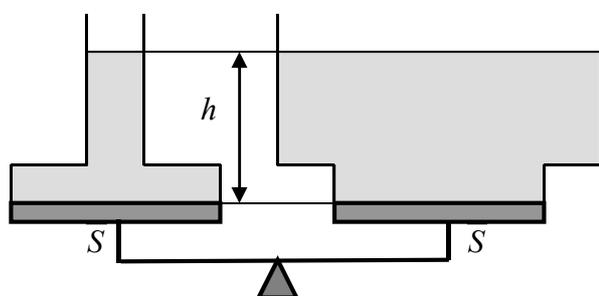


Рис. 11

одинаковой площади. Обоснуйте полученный результат.

2. Определите величину максимальной высоты  $h_{\max}$ , на которую можно поднять жидкость поршневым насосом, если откачивается вода, нефть, ртуть. Объясните, что будет находиться между поршнем и жидкостью (рис.6), когда поршень оторвется от поверхности жидкости.
3. Доказать, что если жидкость или газ находится в равновесии в поле внешних потенциальных сил, то изопотенциальные поверхности будут также изотермами и адиабатами.
4. Найдите распределение давления  $p(z)$  в атмосфере, если температура воздуха меняется по закону  $T=T_0 - (\Delta/100)z$ ,  $\Delta = 0.65^\circ$  – изменение температуры при подъеме на 100 м.,  $T_0 = 288$  К,  $z_0 = 0$ ,  $p_0 = 1$  атм. Найдите изменение плотности с высотой  $\rho(z)$  и высоту атмосферы. Как изменяется с высотой энтропия  $s(z)$ ?

5. Найдите распределение давления  $p(z)$  в адиабатической атмосфере. Найдите изменение плотности  $\rho(z)$  и температуры  $T(z)$ . Какова высота атмосферы? На поверхности Земли воздух находится при нормальных условиях.
6. Почему подводной лодке, коснувшейся илистого дна, трудно всплыть? Оцените выталкивающую силу, действующую на подводную лодку длиной 20 м и средним диаметром поперечного сечения 4 м, плавающую на глубине 50, 100 и 200 м. Найдите величину силы, которую необходимо приложить к лодке, чтобы оторвать ее от илистого дна на тех же глубинах.
7. Воздушный шар летел на некоторой высоте. Сбросили груз. Воздушный шар поднялся выше до определенной высоты. Объясните это явление. Найдите, на какую высоту поднялся воздушный шар радиуса 15 м, летящий на высоте 500 м, если сбросили груз 50 кг. Атмосферу считать изотермической, на поверхности Земли воздух находится при нормальных условиях.
8. Парадокс Жуковского. Цилиндр, свободно вращающийся вокруг своей оси, наполовину помещен в боковую стенку сосуда с водой как показано на рис.12. Со стороны жидкости на цилиндр действует выталкивающая сила. Эта сила может привести цилиндр во вращение. Имеем вечный двигатель первого рода. Объясните парадокс.

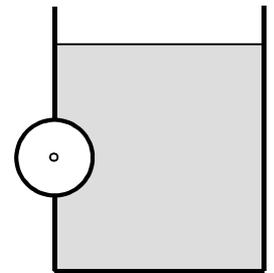


Рис. 12

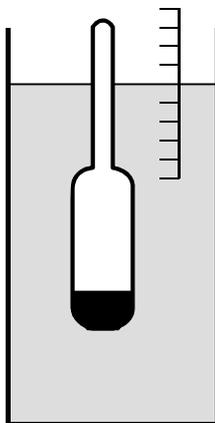


Рис. 13

9. Объясните принцип действия ареометра – прибора для измерения плотности жидкости (рис. 13). Какая и как должна быть нанесена шкала на прибор? Почему, как правило, используется равномерная шкала?
10. Докажите, что для того чтобы равновесие плавающего тела было устойчиво, необходимо, чтобы центр тяжести тела лежал ниже, чем центр тяжести вытесненной жидкости.

11. Цилиндрический бак полностью заполнен смесью воды и керосина и запаян (рис. 14). Отношение объемов  $V_{\text{воды}}/V_{\text{керосина}}=1/2$ . Найти границу раздела жидкостей, если бак вращается с угловой скоростью  $\Omega$  в однородном поле тяжести. При какой частоте вращения дно бака не будет, а боковые стенки сосуда: 1) больше, 2) имеют длину  $L$ ?

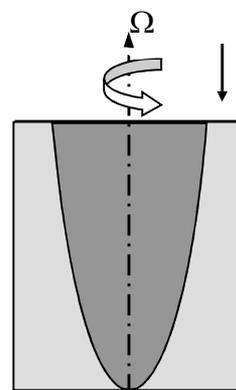
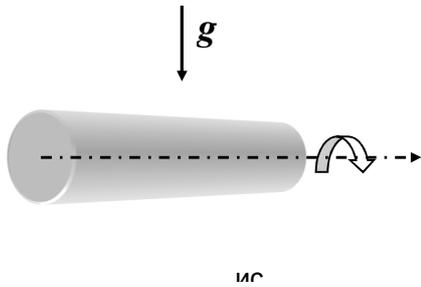


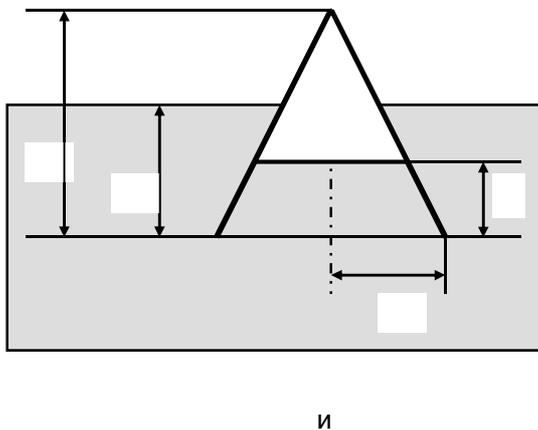
Рис. 14

полностью  
керосина и  
жидкостей, если  
однородном поле  
керосин коснется  
верхней крышки  
сколь угодно

12. Чему равно минимальное и максимальное ускорение частицы песка, находящегося в центрифуге, заполненной водой и вращающейся со скоростью 1200 оборотов в минуту? Радиус центрифуги 0,5 м, высота 1 м. Определите время, необходимое, чтобы частица достигла стенок сосуда, если первоначально находилась в точках  $(r,z) = (0 \text{ м}, 0.5 \text{ м})$ ,  $(0.1 \text{ м}, 0.5 \text{ м})$ ,  $(0.25 \text{ м}, 0.8 \text{ м})$ . Какова будет траектория движения частицы? Предполагается, что все недостающие необходимые данные Вы можете определить самостоятельно.



13. Замкнутый сосуд, наполненный водой, вращается с постоянной угловой скоростью  $\Omega$  относительно горизонтальной оси (рис.15). Покажите, что изобары представляют собой круговые цилиндры, общая ось которых расположена на высоте  $g/\Omega^2$  над осью вращения.



14. Полый конус погружен в воду, как показано на рис. 16. Определите расстояние  $l$ , на которое вода заполняет конус, как функцию глубины погружения конуса  $d$ . Изобразите результат на графике для  $H \geq d \geq 0$ , где  $H=1\text{ м}$  – высота конуса. Предполагается, что температура воздуха внутри конуса остается постоянной.

15. Нарисуйте линии тока для течения

$$u = \alpha x; \quad v = -\alpha y; \quad w = 0.$$

Пусть концентрация примеси в жидкости для области  $y > 0$  есть

$$c(x, y, t) = \beta x^2 y e^{-\alpha t}.$$

$\alpha > 0$ ,  $\beta$  – постоянные. Изменяется ли концентрация примеси в произвольной жидкой частице со временем? Найдите закон движения жидкой частицы  $x = x(X, Y, t)$ ,  $y = y(X, Y, t)$ . Как зависит концентрация от лагранжевых координат и времени?

16. Решите задачу 1, если поле скорости задано в виде

$$u = \alpha y; \quad v = -\beta x; \quad w = 0,$$

$\alpha, \beta > 0$  – постоянные. Концентрация задана во всем пространстве соотношением

$$c(x, y, t) = \lambda(\beta x^2 + \alpha y^2).$$

17. Нарисуйте линии тока, если функция тока задана в виде

$$\psi(x, y) = \psi_0 \sin ax \sin by.$$

18. Нарисуйте линии тока, если функция тока задана в цилиндрической системе координат в виде

$$\psi(r, \theta) = v_0 \left( r - \frac{a^2}{r} \right) \sin \theta + \frac{\Gamma}{2\pi} \ln \frac{r}{a}.$$

Исследуйте, как зависит характер течения от параметров  $v_0, \Gamma$ . (Обтекание цилиндра идеальной жидкостью.)

19. Нарисуйте линии тока, если функция тока задана в сферической системе координат в виде

$$\psi(R, \theta) = \frac{2\nu R \sin^2 \theta}{A - \cos \theta}, \quad A > 1.$$

Исследуйте, как зависит характер течения от параметра  $A$ . (Затопленная струя вязкой жидкости.)

20. Докажите, что разница между значениями функции тока для осесимметричного течения на различных трубках тока равна объемному расходу жидкости, протекающей между этими трубками, деленному на  $2\pi$ .
21. Проверить, что выражение для ротора вектора  $\mathbf{A}$  через определитель (18) совпадает с его определением (16).
22. Доказать в декартовой системе координат, что для дважды непрерывно дифференцируемого поля  $\varphi(x, y, z)$  операция  $\text{rot } \nabla \varphi \equiv 0$  (формула (19)). Таким образом ротор любого потенциального вектора тождественно равен нулю.
23. Доказать в декартовой системе координат, что для дважды непрерывно дифференцируемого поля  $\mathbf{A}(x, y, z)$  операция  $\text{div } \text{rot } \mathbf{A} \equiv 0$  (формула (20)). Таким образом дивергенция ротора любого вектора тождественно равна нулю.
24. Доказать в декартовой системе координат, что для дважды непрерывно дифференцируемого поля  $\mathbf{A}(x, y, z)$   $\text{rot } \text{rot } \mathbf{A} = \nabla \text{div } \mathbf{A} - \Delta \mathbf{A}$  (формула (23)).
25. Докажите, что симметрический (антисимметрический) тензор второго ранга остается симметрическим (антисимметрическим) при преобразовании координат.
26. Докажите, что компоненты метрического тензора в полярной системе координат имеют вид  $g_{rr} = 1, \quad g_{r\varphi} = 0, \quad g_{\varphi\varphi} = r^2, \quad g^{rr} = 1, \quad g^{r\varphi} = 0, \quad g^{\varphi\varphi} = \frac{1}{r^2}$
27. Докажите, что символы Кристоффеля в полярной системе координат имеют вид (59).
28. Докажите, что компоненты ковариантной производной вектора в полярной системе координат имеют вид  $\Gamma_{rr}^r = 0, \quad \Gamma_{rr}^\varphi = 0, \quad \Gamma_{\varphi r}^r = 0, \quad \Gamma_{\varphi r}^\varphi = \frac{1}{r}, \quad \Gamma_{\varphi\varphi}^r = -r, \quad \Gamma_{\varphi\varphi}^\varphi = 0$
29. Докажите, что физические компоненты тензора скоростей деформации в полярной системе координат имеют вид

$$\mathbf{e}_{rr} = \frac{\partial \mathbf{v}_r}{\partial r}, \quad \mathbf{e}_{r\varphi} = \frac{\partial \mathbf{v}_\varphi}{\partial r} + \frac{\partial \mathbf{v}_r}{r \partial \varphi} + \frac{\mathbf{v}_\varphi}{r}, \quad \mathbf{e}_{\varphi\varphi} = \frac{\partial \mathbf{v}_\varphi}{r \partial \varphi} + \frac{\mathbf{v}_r}{r}$$

30. Найдите символы Кристоффеля в цилиндрической системе координат.
31. Найдите дивергенцию вектора в цилиндрической системе координат.
32. Найдите лапласиан скаляра в цилиндрической системе координат.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.