

**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**

**ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	72	22	10		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,  
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	5
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	6
5. Перечень учебной литературы. ....	11
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	11
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	11
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	12
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	12
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	12

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Основы гидродинамики» является общим физическим курсом при обучении на физических факультетах университетов. Цель курса - дать студентам информацию о законах динамики жидкости и газа, о математическом аппарате механики сплошной среды, о важнейших доказанных теоремах и полученных в гидродинамике результатах, и выводах. Этот курс является базовым для следующих курсов, читаемых на кафедре физики неравновесных процессов: «Конвективный теплообмен», «Механика многофазных сред», «Физика горения», «Методы вычислительной физики».

В курсе лекций вначале вводятся основные законы сохранения: массы, импульса, момента импульса для сплошной среды. При этом устанавливается их связь с принципами классической ньютоновской механики для системы точек. Однако в механике сплошной среды мы сталкиваемся с системами с бесконечным числом степеней свободы, что требует применения нового математического аппарата: интегралов по жидкому объёму и по жидким контурам, дифференциальных уравнений в частных производных, векторного и тензорного анализа. Основные законы динамики и законы сохранения сформулированы в различных формах - интегральных и дифференциальных (используется Лагранжево и Эйлерово описание среды). Замыкающие соотношения между тензорами напряжений и скоростей деформации устанавливаются на основе принципа роста энтропии. Этот подход сформулирован в неравновесные термодинамики Онзагера и является универсальным для всей физики.

Сформулированные законы сохранения, доказанные теоремы и разнообразные примеры позволяют студентам ставить и решать задачи по гидродинамике, и выполнить прилагаемое к курсу лекций задание, состоящее из десяти задач.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> основные интегральные законы сохранения для сплошной среды (для массы, импульса, энергии); основные законы и уравнения динамики идеальной и вязкой жидкости, неразрывности, переноса энергии и энтальпии; закон Бернулли и интеграл Коши-Лагранжа; формулу Жуковского для подъемной силы, действующей на контур; формулы Стокса и Озеена для сил, действующих на обтекаемую сферу и цилиндр, соответственно; идею пограничного слоя Прандтля; базовые разделы теории гидродинамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p><b>Уметь</b> формулировать постановку задач гидродинамики; записывать дифферен-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>специальные уравнения и использовать интегралы сохранения; ставить правильно граничные условия на твердых и свободных поверхностях; решать типовые учебные задачи по основным разделам теории гидродинамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов гидродинамики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов гидродинамики для решения научно-инновационных задач; применять знания гидродинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области теории гидродинамики и смежных дисциплин.</p> <p><b>Владеть</b> методом приближенного расчета задач на основе теоремы импульсов; методом построения новых комплексных потенциалов на основе теоремы об окружности; методом комплексных амплитуд для решения задач с колебаниями границ; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам гидродинамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов гидродинамики; навыками решения базовых задач по гидродинамики; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов гидродинамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области гидродинамики и смежных дисциплин.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Основы гидродинамики» реализуется в осеннем семестре 3-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Необходимыми предпосылками для успешного освоения курса являются нижеследующие дисциплины.

В цикле математических дисциплин:

- математический анализ (дифференциальное и интегральное исчисления, комплексные числа, теория потенциала);
- линейная алгебра (системы линейных уравнений, векторное и тензорное исчисления);
- функциональный анализ (теория меры, ряд и интеграл Фурье, обобщенные функции);
- дифференциальные уравнения (обыкновенные и в частных производных, эллиптические и параболические уравнения);
- методы математической физики (разложение решений в ряды, метод мультипольных разложений, метод функции Грина).

В цикле специальных дисциплин:

- классическая механика (уравнения Ньютона, закон сохранения энергии, импульса и момента импульса);
- основы термодинамики (энергия, энтальпия и энтропия, принцип роста энтропии в необратимых процессах).

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

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	72	22	10		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 22 часа;
  - практические занятия – 10 часа;
  - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
  - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Основы гидродинамики» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 5 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Лекции	Практические занятия	Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сплошная среда. Два способа описания движений среды. Линии тока и траектории. Разложение поля скорости в окрестности точки. Вихревые линии и трубки. Циркуляция. Завихренность и тензор скоростей деформации и их физический смысл. (Л 1.8-1.11)	1	2	1		1	
2	Субстанциональная производная. Интегралы по жидким объемам, поверхностям и линиям и производные от них по времени. Интегральные законы сохранения массы и импульса (в двух формах: жидкий и фиксированный объем). Поток массы и поток импульса. (Л 1.12-2.13, 2.15).	2	3	1	1	1	

3	<p>Принцип и теорема Коши. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений и механическое давление. Закон сохранения момента импульса и симметрия тензора напряжений. Идеальная жидкость:</p> <p>уравнения неразрывности, Эйлера, переноса Энтропии. Теоремы Кельвина о циркуляции в идеальной жидкости. Гидростатика. (Л 2.14-2.15, 2.19-2.20).</p>	3	2	1		1	
4	<p>Принцип локального равновесия.</p> <p>Уравнение переноса энергии и энтропии в среде с диссипацией. Производство энтропии и второе начало термодинамики. Постулаты Онзагера и Кюри.</p> <p>Объемная и сдвиговая вязкости и теплопроводность среды. Уравнения Навье-Стокса и переноса энтальпии. Диссипативная функция. (Л 1.12; ЛЛ 1.1-1.2).</p>	4	3	1	1	1	
5	<p>Уравнение переноса завихренности и логарифма плотности. Порождение, распространение и затухание звука. Восстановление поля скорости по его дивергенции и ротору. Давление в несжимаемой жидкости как пуассоновский интеграл (Л 3.23; Б 2.4)</p>	5	3	1		2	
6	<p>Уравнение движения жидкости в форме Громеки-Лэмба. Стационарное течение, закон Бернулли. Нестационарное потенциальное движение, интеграл Коши-Лагранжа (Л 3.23-3.24; ЛЛ 1.5, 1.7, 1.9).</p>	3	3	1		2	
7	<p>Теорема импульсов в эйлеровом представлении. Примеры:</p> <p>а) удар струи о пластину;</p> <p>б) труба с расширением;</p> <p>в) расходомерная шайба;</p> <p>г) дырчатый лист;</p> <p>д) трубка Пито;</p> <p>е) сила, действующая между источниками (сила Бьеркнеса).</p>	7	3	1	1	1	
8	<p>Потенциальное движение несжимаемой жидкости. Источник, вихрь, вихресток. Суперпозиция особенностей. Обтекание цилиндра и сферы.</p> <p>Парадокс Даламбера и формула Жуковского для подъемной силы движущегося цилиндра с циркуляцией (Л 5.42-5.44; Б 2.9-2.10).</p>	8	4	2	1	1	

9	Методы ТФКП в гидродинамике. Функция тока, комплексные потенциал и скорость. Преобразование скорости, энергии и особенностей при конформных отображениях. Теорема об окружности и примеры ее использования (Л 5.43; Б 6.5).	9	4	2	1	1	
10	Формула комплексной силы, возникающей при обтекании произвольного контура с циркуляцией и расходом. Обтекание эллиптического цилиндра и пластинки. Момент сил, действующих на контур (Л 5.48; Б 6.6).	10	4	2	1	1	
11	Гамильтоновы уравнения движения точечных вихрей. Энергия, импульс и момент импульса системы вихрей. Случаи точного интегрирования уравнений движения. Стохастические траектории вихрей (Б 7.3; АКО 6.1; ГЧ).	11	4	2	1	1	
12	Движения вязкой жидкости и граничные условия. Диссипация энергии для потенциальных полей скорости. Течения в трубах. Критерий Рейнольдса и переход к турбулентности (ЛЛ 2.15-2.19).	12	4	2	1	1	
13	Течения при малых числах Рейнольдса: приближение Стокса; решение Стокса для сферы и Адамара-Рыбчинского для капли; приближение Озеена (ЛЛ 2.20-2.22).	13	5	2	1	1	
14	Течение при больших числах Рейнольдса - пограничный слой Прандтля. Потеря устойчивости и переход к турбулентности. Кризис сопротивления (ЛЛ 2.39-2.14, 2.45; Ш 7.1-7.5).	14	2	1		1	
15	Точные решения уравнений Навье-Стокса: течение вблизи критической точки на теле и на вращающемся диске, течения в диффузоре и конфузоре, затопленная струя Ландау (ЛЛ 2.23; Ш 5.1-5.2).	15	2	1		1	
16	Ударные волны. Конус Маха. Поверхности разрыва. Адиабата Гюгонио. Ударные волны в политропном газе (ЛЛ 9.82-89; Л 6.38-39).	16	2	1		1	
17	Групповая консультация		2				2
18	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
19	Экзамен		2				2
<b>Итого</b>			<b>72</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>22</b>



## Программа и основное содержание лекций (22 часа)

### Программа курса ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

1. Сплошная среда. Два способа описания движений среды. Линии тока и траектории. Разложение поля скорости в окрестности точки. Вихревые линии и трубки. Циркуляция. Завихренность и тензор скоростей деформации и их физический смысл. (Л 1.8-1.11).
2. Субстанциональная производная. Интегралы по жидким объемам, поверхностям и линиям и производные от них по времени. Интегральные законы сохранения массы и импульса (в двух формах: жидкий и фиксированный объем). Поток массы и поток импульса (Л 1.12-2.13, 2.15).
3. Принцип и теорема Коши. Поверхностные силы и тензор напряжений, механическое давление. Закон сохранения момента импульса и симметрия тензора напряжений. Идеальная жидкость: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, уравнение переноса энтропии. Теоремы Кельвина о циркуляции в идеальной жидкости. Гидростатика (Л 2.14-2.15, 2.19-2.20; Л 1.12; ЛЛ 1.1-1.3).
4. Принцип локального равновесия. Уравнение переноса энергии и энтропии в среде с диссипацией. Производство энтропии и второе начало термодинамики. Постулаты Онзагера и Кюри. Объемная и сдвиговая вязкости и теплопроводность среды. Уравнения Навье-Стокса и переноса энтальпии. Диссипативная функция (ДГМ гл.3, 4; ПММ 1.1-1.5).
5. Уравнение переноса завихренности и логарифма плотности. Порождение, распространение и затухание звука. Восстановление поля скорости по его дивергенции и ротору. Давление в несжимаемой жидкости как пуассоновский интеграл (Л 3.23; Б 2.4).
6. Уравнение движения жидкости в форме Громеки-Лэмба. Стационарное течение, закон Бернулли. Нестационарное потенциальное движение, интеграл Коши-Лагранжа. (Л 3.23-3.24; ЛЛ 1.5, 1.7, 1.9)
7. Теорема импульсов в эйлеровом представлении. Примеры: а) удар струи о преграду; б) труба с расширением; в) расходомерная шайба; г) дырчатый лист; д) трубка Пито; е) сила, действующая между источниками (сила Бьеркнеса).
8. Потенциальное движение несжимаемой жидкости. Источник, вихрь, вихресток. Суперпозиция особенностей. Обтекание цилиндра и сферы. Парадокс Даламбера и формула Жуковского для подъемной силы движущегося цилиндра с циркуляцией (Л 5.42-5.44; Б 2.9-2.10).
9. Методы ТФКП в гидродинамике. Функция тока, комплексные потенциал и скорость. Преобразование скорости, энергии и особенностей при конформных отображениях. Теорема об окружности и примеры ее использования (Л 5.43; Б 6.5).
10. Формула комплексной силы, возникающей при обтекании произвольного контура с циркуляцией и расходом. Обтекание эллиптического цилиндра и пластинки. Момент сил, действующих на контур (Л 5.48; Б 6.6).
11. Гамильтоновы уравнения движения точечных вихрей. Энергия, импульс и момент импульса системы вихрей. Случаи точного интегрирования уравнений движения. Стохастические траектории вихрей (Б 7.3; ГЧ).

12. Движения вязкой жидкости, граничные условия, диссипация энергии. Примеры с вычисляемой диссипацией (модель Левича для всплывающего пузыря, декремент затухания колебаний пузырька). Течения в трубах. Критерий Рейнольдса и переход к турбулентности (ЛЛ 2.15-2.19).

13. Течения при малых числах Рейнольдса: решение Стокса для сферы и Адамара-Рыбчинского для капли. Парадокс Стокса для цилиндра и решение Озеена (ЛЛ 2.20-2.22).

14. Течение при больших числах Рейнольдса - пограничный слой Прандтля. Потеря устойчивости и переход к турбулентности. Кризис сопротивления (ЛЛ 2.39-2.14, 2.45; Ш 7.1-7.5).

15. Точные решения уравнений Навье-Стокса: течение вблизи критической точки на теле и на вращающемся диске, течения в диффузоре и конфузоре, затопленная струя Ландау (ЛЛ 2.23; Ш 5.1-5.2).

16. Ударные волны. Конус Маха. Поверхности разрыва. Адиабата Гюгонио. Ударные волны в политропном газе (ЛЛ 9.82-89; Л 6.38-39).

### **Программа практических занятий (10 часов)**

*Занятие 1* Теорема импульсов в эйлеровом представлении. Примеры: а) удар струи о преграду; б) труба с расширением; в) расходомерная шайба; г) дырчатый лист; д) трубка Пито; е) сила, действующая между источниками (сила Бьеркнеса). **(6 часов)**

*Занятие 2* Потенциальное движение несжимаемой жидкости. Источник, вихрь, вихресток. Суперпозиция особенностей. Обтекание цилиндра и сферы. Парадокс Даламбера и формула Жуковского для подъемной силы движущегося цилиндра с циркуляцией. **(4 часа)**

*Занятие 3* Методы ТФКП в гидродинамике. Функция тока, комплексные потенциал и скорость. Преобразование скорости, энергии и особенностей при конформных отображениях. Теорема об окружности и примеры ее использования (Л 5.43; Б 6.5). **(4 часа)**

*Занятие 4* Формула комплексной силы, возникающей при обтекании произвольного контура с циркуляцией и расходом. Обтекание эллиптического цилиндра и пластинки. Момент сил, действующих на контур (Л 5.48; Б 6.6). **(4 часа)**

*Занятие 5* Гамильтоновы уравнения движения точечных вихрей. Энергия, импульс и момент импульса системы вихрей. Случаи точного интегрирования уравнений движения. Стохастические траектории вихрей (Б 7.3; ГЧ). **(4 часа)**

### **Самостоятельная работа студентов (36 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

## **5. Перечень учебной литературы.**

### **5.1. Основная литература**

Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. ЛЛ

### **5.2. Дополнительная литература**

1. Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, И. В. Розе, Теоретическая гидромеханика. Изд. физ.-мат. литературы, М. 1963, Ч.1, 583 стр., Ч.2, 727 стр.
2. Дж. Хаппель, Г. Бреннер, Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М. Мир, 1976, 630 стр.
3. Г. Ламб, Гидродинамика. М., ОГИЛ, 2003, 929 стр.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М: Наука, 1987. Л
5. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. - М: Мир, 2004.. Б
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М: Наука, 1974. Ш
7. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М: Мир, 1964. ДГМ
8. Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л., Введение в теорию концентрированных вихрей. - Новосибирск: ИТ СО РАН, 2003, 504 с. АКО
9. Гешев П.И., Черных А.И. Движение вихрей в двумерной односвязной области. - Препринт N.65, Новосибирск, Изд. ИТФ СО АН СССР, 1980. ГЧ

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:  
Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. ЛЛ

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

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

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

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

### **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 занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой 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.

Реализация дисциплины осуществляется с применением электронного обучения на платформе Zoom где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины;

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.**

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

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области кристаллографии и рентгеноструктурного анализа в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p><b>Знать</b> основные интегральные законы сохранения для сплошной среды (для массы, импульса, энергии); основные законы и уравнения динамики идеальной и вязкой жидкости, неразрывности, переноса энергии и энтальпии; закон Бернулли и интеграл Коши-Лагранжа; формулу Жуковского для подъемной силы, действующей на контур; формулы Стокса и Озеена для сил, действующих на обтекаемую сферу и цилиндр, соответственно; идею пограничного слоя Прандтля; базовые разделы теории гидродинамики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Уметь</b> формулировать постановку задач гидродинамики; записывать дифференциальные уравнения и использовать интегралы сохранения; ставить правильно граничные условия на твердых и свободных поверхностях; решать типовые учебные задачи по основным разделам теории гидродинамики; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов гидродинамики, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов гидродинамики для решения научно-инновационных задач; применять знания гидродинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области теории гидродинамики и смежных дисциплин.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

<p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Владеть</b> методом приближенного расчета задач на основе теоремы импульсов; методом построения новых комплексных потенциалов на основе теоремы об окружности; методом комплексных амплитуд для решения задач с колебаниями границ; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам гидродинамики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов гидродинамики; навыками решения базовых задач по гидродинамике; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов гидродинамики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области гидродинамики и смежных дисциплин.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
---	---	---

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы гидродинамики».

**Таблица 10.2**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. 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	ПК 1.2	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)	ПК 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 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.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Задания для самостоятельного решения по курсу "Основы гидродинамики"

1. Поле скорости задано в переменных Лагранжа:  $V_1 = -k\xi_1 e^{-kt}$ ,  $V_2 = k\xi_2 e^{kt}$ ,  $V_3 = k\xi_3 e^{kt}$ , где  $\xi_i = X_i(t=0)$ . Найти: закон движения сплошной среды  $X_i(t)$ , поле скорости в переменных Эйлера, завихренность  $\omega$ , компоненты ускорения частиц жидкости (в переменных Эйлера), получить уравнение линий тока, вычислить компоненты тензора скоростей деформаций.
2. Поле скорости задано в эйлеровых координатах:  $u_1 = -\Omega x_2$ ,  $u_2 = \Omega x_1$ ,  $u_3 = V$ , где  $\Omega$  и  $V$  - постоянные. Найти: закон движения сплошной среды  $X_i(t)$ , завихренность  $\omega$ , ускорение  $du/dt$ ; вычислить компоненты тензора скоростей деформаций; определить линии тока данного течения.
3. Внутри жидкой, несжимаемой планеты плотности  $\rho$ , радиуса  $R$  помещено сферическое тело радиуса  $r$  на расстоянии  $a$  от центра ( $r+a < R$ ). Найти выталкивающую силу, действующую на это тело.
4. Поток идеальной несжимаемой жидкости плотности  $\rho$ , текущей по трубе, поворачивает на угол  $\theta$ , заданы входное и выходное сечения трубы  $S_1, S_2$ , скорость на входе  $V$  и единичные векторы  $n_1, n_2$  направлений потоков; на выходе из трубы задано атмосферное давление  $p_0$ . Построить векторную формулу для силы  $F$ , действующей на изогнутое колено трубы.
5. Найти распределение давления на сфере радиуса  $R$ , движущейся в идеальной несжимаемой жидкости с ускорением  $a$ . Плотность жидкости  $\rho$ , давление на бесконечности  $p_0$  (там жидкость покоится). Найти силу, действующую на сферу со стороны жидкости.
6. Пузырек с газом радиуса  $R_0$ , находясь в жидкости, совершает радиальные малые колебания с резонансной частотой. Движение газа считать адиабатическим. Плотность жидкости  $\rho$ , давление вдали от пузырька  $p_0$ . Определить частоту малых резонансных колебаний пузырька. Оценить силу притяжения колеблющегося пузырька к твердой стенке.

7. Вокруг покоящегося в идеальной несжимаемой жидкости кругового цилиндра радиуса  $R$  создано осесимметричное потенциальное течение с циркуляцией  $\Gamma$ . Как будет двигаться цилиндр, 1) если толчком сообщить ему скорость  $V$ ; 2) если его отпустить при условии, что он полый и жидкость плотности  $\rho$  находится в однородном поле тяжести  $g$ .
8. Найти профиль скорости и расход при течении вязкой жидкости в эллиптической трубе. Даны: вязкость  $\eta$ , перепад давления  $\Delta p$  на длине  $L$  и полуоси эллипса  $a, b$ .
9. По плоской поверхности с углом наклона  $\alpha$  относительно вектора силы тяжести течет двухслойная пленка жидкости. Слой вблизи стенки имеет толщину  $h_1$ , плотность  $\rho_1$  и вязкость жидкости  $\mu_1$ . Внешний слой граничит с воздухом и имеет толщину  $h_2$ , плотность жидкости  $\rho_2$  и вязкость  $\mu_2$ . Рассчитать профиль скорости в двухслойной пленке и расходы жидкостей.
10. Бесконечная плоскость колеблется вдоль себя (по оси  $x$ ) с заданной скоростью  $U = V \sin(\omega t)$ . Найти распределение скорости  $u(y, t)$  в жидкости с кинематической вязкостью  $\eta$ , налитой сверху на плоскость слоем высоты  $H$ .

### Задачи к экзамену по курсу "Основы гидродинамики"

1. Внутри трубки радиуса  $R$  движется цилиндрический стержень радиуса  $r$  со скоростью  $V$ . Определить профиль скорости в жидкости и напряжение трения на внутренней и внешней трубках.
2. Жидкость с кинематической вязкостью  $\nu = 3 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/сек стекает тонкой пленкой по наклонной плоскости с углом наклона к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ . Найти толщину пленки  $h$  и распределение скорости поперек пленки, если известен объемный расход жидкости (на единицу ширины наклонной плоскости)  $Q = 0.007$  м<sup>3</sup>/(сек · м).
3. Прибор для определения вязкости жидкостей - капиллярный вискозиметр - состоит из цилиндрической емкости сечением  $S_0$  и длинного тонкого капилляра (длина  $l$ , сечением  $S$ ), через который вытекает жидкость. Разработать теорию этого метода измерений вязкости.
4. Оценить скорость осаждения капелек тумана диаметром  $d = 0.05$  мм в воздухе ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/сек).
5. Построить комплексный потенциал скорости для источника вблизи цилиндра. Нарисовать распределение давления по поверхности цилиндра? Определить силу притяжения источника к цилиндру.
6. Построить потенциальное поле скорости, получающееся при натекании равномерного потока на источник  $Q$ . Найти уравнение нулевой линии тока, определить размеры обтекаемого тела Рэнкина. - Плоская задача ( $x, y$  - координаты).

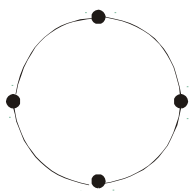


7. Показать, что профиль скорости в трубе с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника определяется произведением высот  $h_1 h_2 h_3$ , опущенных на стороны из любой точки:  $u(x, y) = A h_1 h_2 h_3$ . Определить константу  $A$  если задан градиент давления  $dP/dz$ , вязкость жидкости  $\eta$  и сторона треугольника  $a$ .
8. Заданы два точечных вихря: при  $y = +H$  с циркуляцией  $\Gamma$  и при  $y = -H$  с циркуляцией  $-\Gamma$ . Какова скорость такой вихревой пары? Перейти в движущуюся систему координат, где вихри покоятся, построить в ней комплексный потенциал течения  $w(z)$ , нарисовать линии тока получающегося течения и распределение давления на оси симметрии ( $y=0$ ).
9. Рассчитать уравнения линий тока в вихре-источнике с циркуляцией  $\Gamma$  и расходом  $Q$ .
10. В цилиндре радиуса  $R$  на расстоянии  $r$  от центра помещен точечный вихрь интенсивности  $\Gamma$ . Какова скорость вихря и траектория его движения?
11. Какой системе источников соответствуют комплексные потенциалы

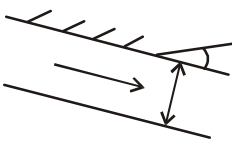
$$1) f(z) = -\frac{Q}{2\pi} \ln(z^4 + a^4); \quad 2) f(z) = \frac{Q}{2\pi} \ln(z^2 - l^2) ?$$

12. Маленькая сфера радиуса  $R$ , вращается с малой угловой скоростью  $\vec{\Omega}$  в жидкости вязкости  $\eta$ . Рассчитать в стоксовом приближении поле скорости вне сферы.
13. Доказать, что завихренность  $\vec{\omega} = \nabla \times \vec{v}$  равна удвоенной скорости вращения жидкости  $\vec{\Omega}$ :  

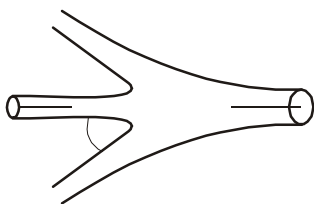
$$\vec{\omega} = 2\vec{\Omega}$$



14. На одинаковых расстояниях от центра симметрично расположены два источника положительных ( $+Q$ ) и два источника ( $-Q$ ). Показать, что окружность, проходящая через четыре точки (см. рис.), является линией тока.



15. Пленка жидкости (конденсата) стекает по наклонной поверхности потолка (угол  $\alpha$  с горизонтом). Рассчитать профили давления, скорости и расход жидкости в пленке, если ее толщина  $h$ .



16. Рассчитать угол  $\theta$ , образующийся при соударении круглых струй жидкости, имеющих одинаковую скорость  $v$  и радиусы  $r$  и  $R$ .

Каков максимум давления в сталкивающихся струях?

## Вопросы к экзамену по курсу Основы гидродинамики

1. Дать определения: линий тока, траекторий, вихревых линий, вихревых трубок, циркуляции, тензора скоростей деформации. Теорема Гельмгольца о разложении поля скорости в окрестности точки.
2. Как преобразуются производные от интегралов по жидкому объему? Интегральные законы сохранения. Потоки массы и потоки импульса.
3. Свойства поверхностных сил в гидродинамике. Тензор напряжений и его свойства.
4. Уравнение Эйлера. Теорема Кельвина (Томсона) о циркуляции. Следствия для завихренности, вытекающие из теоремы Кельвина.
5. Законы гидростатики. Давление во вращающемся сосуде, в глубине жидкой планеты, в атмосфере.
6. Энтропия, производство энтропии и II начало термодинамики. Диссипативная функция в уравнении баланса энергии.
7. Описать источники завихренности в вязкой жидкости. Сформулировать эволюционное уравнение для завихренности.
8. Как рассчитать давление в моделях сжимаемой и несжимаемой жидкости?
9. Уравнение Эйлера в форме Громеки-Ламба. Закон Бернулли и интеграл Коши Лагранжа (условия их вывода).
10. Интегральная теорема импульсов. Примеры её применения (натекание струи на пластину, дырчатый лист).
11. Что такое функция тока? Определить уравнение линий тока для вихреисточника с циркуляцией  $\Gamma$  и расходом  $Q$ .
12. Какие свойства у потенциальных течений несжимаемой жидкости? Особые решения уравнения Лапласа: монополи, диполи, вихри.
13. Парадокс Даламбера и сила Жуковского. Гипотеза Жуковского о величине и знаке циркуляции для крыла с острой кромкой.
14. Как изменяется скорость с расстоянием до источника или вихря?
15. Теорема об окружности: сформулировать и применить к точечному источнику.
16. Записать уравнения Навье-Стокса и граничные условия к нему.
17. Уравнение баланса энтропии и второе начало термодинамики, феноменологические коэффициенты переноса. Принцип симметрии Онзагера для феноменологических коэффициентов.
18. Теорема Коши о тензоре напряжений. С чем связана симметрия тензора напряжений?
19. Сформулировать принцип локального равновесия.

20. Как устроена трубка Пито для локальных измерений скорости в потоке жидкости или газа?
21. Что такое расходомерная шайба? Построить формулу для перепада давления на такой шайбе.
22. Рассчитать перепад давления при протекании жидкости через дырчатый лист?
23. Как определяется потеря давления в потоке жидкости при резком расширении диаметра трубы?
24. Как определить перепад давления при протекании жидкости через трубку с сужением – сопло Вентури?
25. Теорема о линии. Доказать для верхней полуплоскости аналог теоремы об окружности: Если все особые точки  $z_i$  лежат в верхней полуплоскости (все  $y_i > 0$ ), тогда новый комплексный потенциал  $f_1 = f(z) + \overline{f(\bar{z})}$  описывает течение с условием непротекания на линии  $y = 0$ .
26. Доказать теорему об окружности: Если все особые точки лежат вне окружности ( $|z_i| > a$ ), то новый комплексный потенциал  $f_1(z) = f(z) + \overline{f(a^2/\bar{z})}$  будет описывать течение с теми же особенностями, но дополнительно с условием непротекания на окружности  $|z| = a$ .
27. Приближение Стокса и Озеена: силы, действующие на сферу (Стокс) и цилиндр (Озеен) в потоке вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса. Парадокс Стокса.
28. Основные идеи теории пограничного слоя Прандтля. Уравнение Прандтля для пограничного слоя на теле.

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</i></p> <p><b>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</b> <i>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
--

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_\_\_\_\_

1. ....
2. ....
3. ....

Составитель \_\_\_\_\_ /Ф.И.О. преподавателя/  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

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.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Основы гидродинамики»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного