

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Утверждено на заседании

Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ

Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

Механика жидкости и газа / Fluid Mechanics

---

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

---

*код и название направления подготовки*

образовательная программа

Nuclear Technologies

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

*1.1 В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:*

Код компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-3	Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций	З-ПК-3 Знать: основные физические законы и методы обработки данных У-ПК-3 Уметь: работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций В-ПК-3 Владеть: навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией

## 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

## 1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация, 6 семестр</b>			
1.	1.1. Введение Аксиоматика механики жидкости и газа. Основные кинематические	З-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК3	ИДЗ 1

	понятия и образы		
2.	1.2. Закон сохранения массы. Примеры простейших течений. Принцип отвердевания линий тока		
3.	1.3. Закон сохранения импульса и его частные решения для идеальной жидкости. Определение сил на конструкции в покоящейся жидкости	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК3	ЛР 1-4
4.	1.4. Сопротивление давления при внешнем обтекании, в том числе решётки профилей		
5.	1.5. Закон сохранения и превращения энергии Одномерный поток несжимаемой жидкости и газа	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК3	ЛР 5-7
6.	1.6. Гидравлические сопротивления		
7.	1.7. Уравнения движения вязкой жидкости. Пограничный слой. Свободный пограничный слой (струи)	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК3	ИДЗ 1
8.	1.8. Теория подобия и физическое моделирование		
<b>Промежуточная аттестация, 6 семестр</b>			
	Экзамен	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК3	Вопросы к экзамену

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно /Зачтено
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

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

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	1-16	36 - 60% от максимума	60
Контрольная точка № 1	7-8	18 (60% от 30)	30
ИДЗ 1	6	9	15
ЛР 1-4	7	9	15
Контрольная точка № 2	15-16	18 (60% от 30)	30
ЛР 5-7	14	9	15

ИДЗ 2	15	9	15
<b>Промежуточная аттестация</b>	-	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		
<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

**4.Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки	<b>14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»</b>
Образовательная программа	<b>«Nuclear Technologies»</b>
Дисциплина	<b>Механика жидкости и газа / Fluid Mechanics</b>

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №\_\_**

1. Вопрос для проверки уровня обученности **ЗНАТЬ**  
.....
2. Вопрос для проверки уровня обученности **УМЕТЬ** и **ВЛАДЕТЬ**  
.....

Составитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Е.Ф. Авдеев

Начальник отделения \_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С. Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

## Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки **14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»**

Образовательная программа **«Nuclear Technologies»**

Дисциплина **Механика жидкости и газа / Fluid Mechanics**

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Доказать справедливость закона Паскаля для двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей.
2. Объяснить значение основных предположений жидкости – сплошности и легкой подвижности. Получить дифференциальное уравнение неразрывности движения.
3. Найти распределение скоростей по поверхности цилиндра при его безотрывном безциркуляционном обтекании.
4. Рассмотреть взаимодействие вихрей одинаковой интенсивности.
5. Наложением каких простейших течений получают безциркуляционное обтекание круглого цилиндра? Когда применим принцип отвердевания линий тока?
6. Ввести понятие трубки тока; ее основное свойство. Дать выражение для объемного и массового расхода.
7. Проинтегрировать дифференциальные уравнения гидрогазостатики и получить основное уравнение гидростатики.
8. Ввести понятие тока; ее кинематический смысл. Найти линии тока по заданной функции тока.
9. Ввести понятие живого сечения и гидравлического радиуса. Доказать основное свойство плавноизменяющихся движений.
10. Найти силу, действующую на наклонную плоскую стенку в покоящейся жидкости.
11. Получить распределение скорости при ламинарном движении в круглой трубе. Как связаны максимальная и средняя скорости?
12. Рассмотреть режимы течения в соплах Лавалю. Как вывести сопло Лавалю на расчетный сверхзвуковой режим?
13. Найти распределение давления во вращающемся вертикальном сосуде, заполненном жидкостью.
14. Ввести вихревой линии и трубки. Почему вихревые трубки не могут заканчиваться в жидкости?
15. Как связаны интенсивность вихревой трубки с циркуляцией скорости? Найти распределение скоростей вне плоского вихря.
16. Как по известной характеристической функции течения выяснить геометрию течения (линии тока), расход, циркуляцию скорости?
17. Получить связь параметров торможения и критических параметров при адиабатическом течении сжимаемой жидкости.
18. Как определить силу, действующую на произвольную криволинейную поверхность в покоящейся жидкости?
19. Потенциальное (безвихревое) течение. Ввести понятие потенциала скорости, характеристической функции течения и сопряженной скорости.

20. Получить уравнение газостатики для изотермического случая. Барометрическое нивелирование.
21. Получить интеграл Бернулли в случае адиабатического течения газа. Формула для скорости Сен-Венана и Ванцеля.
22. Объяснить получение и записать вид интеграла Бернулли для относительно движения в турбомашинах.
23. Методы описания движения жидкости Л.Эйлера и Лагранжа. Записать различные виды выражений для полного ускорения.
24. Ввести понятие основных параметров двухфазных течений.
25. Как определить параметры газа в сечениях канала при известном продольном изменении его площади?
26. Получить выражение для расхода при истечении несжимаемой жидкости из цилиндрического насадка. Почему насадок работает как насос?
27. Дать определение и назвать элементы плоской решетки профилей. Указать основное свойство решеток, примеры их применения в технике. Получить выражение для силы, действующей на профиль в решетке.
28. Указать связь функции давления с энтальпией. Тепловая форма интеграла Бернулли.
29. Получилось выражение для потерь давления на трения при ламинарном течении в трубах. Понятие коэффициента трения.
30. Получить интеграл Бернулли для тяжелой несжимаемой жидкости и дать его геометрическую интерпретацию.
31. Как определить массовый расход газа при истечении из конфузорного сопла?
32. Ввести понятие скорости звука и числа М. Получить связь параметров торможения и статистических через число М для адиабатического течения газа.
33. Получить между давлением и плотностью при переходе газа через прямой скачок уплотнения (и показать графически).
34. Рассмотреть возможные случаи безотрывного обтекания цилиндра в зависимости от циркуляции скорости. Почему появляется поперечная сила при циркуляционном обтекании?
35. Получить закономерности распределения давления вне и внутри плоского вихря.
36. Дать представление о решении задач обтекания по методу конформных отображений. Объяснить способ получения формы профилей с помощью преобразования инверсии.
37. Объяснить природу «турбулентных напряжений» в потоке. Записать распределение скоростей в гидравлически шероховатых трубках.
38. Найти распределение давления по образующей круглого цилиндра при его безциркуляционном обтекании. Сила сопротивления давления.
39. Определить силу сопротивления давления на пластину, расположенную под углом к набегающему потоку.
40. Обобщить интеграл Бернулли на поток конечных размеров вязкой жидкости (уравнение Бернулли).
41. Найти распределение скоростей по поверхности цилиндра при его циркуляционном обтекании.
42. Объяснить парадокс Даламбера на примере безотрывного безциркуляционного обтекания круглого цилиндра. Кризис сопротивления плохо обтекаемых тел.
43. Получить выражение для коэффициента сопротивления трения в гидравлически гладких трубах.
44. Получить распределение скоростей при турбулентном движении в гидравлически гладких трубах.
45. Природа турбулентного трения. Дать сравнительную характеристику гипотез турбулентности Буссинеска, Прандтля и Кармана.
46. Получить выражения для скорости и расхода при истечении из малых отверстий с тонкой стенкой.
47. Получить уравнения динамики жидкости в напряжениях и указать на его физический смысл.
48. Ввести понятие давления в вязкой жидкости на основе обобщенного закона Ньютона для тензора напряжений и получить уравнения движения Навье-Стокса.
49. Перенос тепла и вещества в струях; обосновать эжектирующее воздействие струй.

50. Объяснить причины отрыва пограничного слоя.
51. Физически представления о пограничном слое. Объяснить смысл введения толщины вытеснения и толщины потери импульса.
52. Получить закон сопротивления в гидравлически гладких трубах.
53. Объяснить возникновение прямого гидравлического удара. Записать выражение для повышения давления при прямом и непрямом гидроударе.
54. Рассказать последовательность расчета ламинарного пограничного слоя на основе интегрального соотношения Кармана.
55. Объяснить причины эрозионного износа лопаток в последних ступенях турбин.
56. Объяснить правила вычисления местных сопротивлений и их природу.
57. Рассказать эмпирический метод расчета турбулентного пограничного слоя на гидравлически шероховатой поверхности (по Дробленкову).
58. Эмпирический метод расчета турбулентного пограничного слоя на гидравлически гладкой пластине (по Фолкнеру).
59. Указать факторы, влияющие на переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Методы управления пограничным слоем.
60. Дать классификацию струйных течений и структуру развития турбулентной струи. Вывести закономерности изменения ширины плоских и круглых турбулентных струй.
61. Получить выражение для скорости звука в газе (паре) для адиабатического процесса. Показать графически изменение скорости звука в двухфазных потоках в зависимости от объемного газосодержания.
62. Дать оценку слагаемых в уравнения Навье-Стокса в области пограничного слоя. Уравнения пограничного слоя. Л.Прандтля и граничные условия.
63. Структура двухфазного пограничного слоя при малой влажности. Объяснить причину возникновения парового подслоя.
64. При каких условиях образуются жидкие пленки в двухфазном пограничном слое; их влияние на сопротивление трения и сопротивления давления.
65. Объяснить причину возможного «запирания» каналов при течении жидкости с пузырьками газа.
66. Объяснить причину повышения интенсивности гидроударов во вскипающей жидкости.
67. Показать характер поперечных профилей скорости на начальном и основном участках турбулентной струи.
68. Записать связь скоростей перед и за скачками уплотнения с критической скоростью. Указать условие возникновения скачков уплотнения.
69. Привести классификацию струйных течений. Структура турбулентной струи.
70. Дать оценку «дальнобойности» плоских и круглых струй.
71. Рассказать об особенностях турбулентного смешения в газодисперсных струях.
72. Чем обусловлено различие между динамическими и тепловыми границами турбулентных струй.

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки **14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»**

Образовательная программа **«Nuclear Technologies»**

Дисциплина **Механика жидкости и газа / Fluid Mechanics**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

Лабораторные работы проводятся на стендах с реально протекающими физическими процессами. Всего выполняется 7 лабораторных работ. Описания лабораторных работ изложены в лабораторном практикуме по курсу «Механика жидкости и газа» (Авдеев Е.Ф., Ющенко Н.Е. Лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа». – Обнинск: ИАТЭ, 2007, – 68 с.).

Темы лабораторных работ

№	Название лабораторной работы
1	1.1. Методика измерения скорости при помощи трубки Прандтля и изучение зависимости показаний трубки от угла между её осью и направлением скорости.
2	2.1. Сопротивление поперечно обтекаемого пучка труб.
3	3.1. Геометрическая интерпретация уравнения Д. Бернулли. 3.2. Определение коэффициента расхода при истечении жидкости из малых отверстий и из насадков.
4	4.1. Изучение потери напора при турбулентном установившемся движении жидкости. 4.2. Определение коэффициентов местных сопротивлений и тарированного коэффициента расходомерной шайбы.
5	5.1. Определение максимального повышения давления при прямом и непрямом гидроударе в трубопроводе.

**Критерии и шкала оценивания компетенций (результатов):**

Выполнение лабораторного практикума является необходимым условием допуска студента к сдаче экзамена.

Суммарное максимальное число баллов за выполнение 7-ми лабораторных работ- 30 баллов, минимальное число баллов, при которых засчитывается выполнение лабораторного практикума-20 баллов.

То есть максимальное число баллов за одну лабораторную работу –(4-5) баллов, а минимальное число баллов -3 балла.

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки **14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»**

Образовательная программа **«Nuclear Technologies»**

Дисциплина **Механика жидкости и газа / Fluid Mechanics**

**ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №1**

Задачи для практических занятий изложены в учебном пособии «Сборник задач по курсу «Механика жидкости и газа»» (автор Е.Ф. Авдеев).

Задачи представлены по разделам «Гидростатика», «Кинематика жидкости», «Гидродинамика» и «Динамика двухфазных потоков». Каждому разделу предшествуют «основные расчетные зависимости», знания которых необходимо для решения задач.

В качестве типовых задач на дом задается 6 задач.

Примеры решения задач

Решение к задаче 1.14.

Сила действующая на затвор  $P = \rho g h c \cdot s$ .

Для определения усиления  $T$  для открытия затвора составляется уравнение моментов относительно точки «O»:

$$-T a \cos \alpha + P(Zg - OO') = 0$$

$$T = \frac{P(Zg - OO')}{a \cos \alpha}, \text{ где } Zg - \text{ расчетное до линии действия силы } P$$

Так как

$$Zg = Zc + \frac{J_0}{ZcS}$$

$$Zg = \frac{hc}{\sin \alpha} + \frac{a^4 \sin \alpha}{12a^2 hc}, \text{ так как } OO' = \frac{hc}{\sin \alpha} - \frac{a}{2}$$

$$J_0 = \frac{bh^3}{12}$$

$$T = \frac{\rho g h c a^2}{2 \cos \alpha} \left( 1 + \frac{a \sin \alpha}{6hc} \right)$$

Подставив численные значения, получим

$$T = 7 \cdot 10^4 \text{ Н} \left( 1 + \frac{\sqrt{3}}{84} \right) = 7,14 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Решение к задаче 1.18

Вертикальная сила  $P_z = \rho g h V$ , где  $V$ -объем «тела давления», равный в данном случае разности объемов

цилиндра (высотой  $H = h + \frac{P_0}{\rho g}$  и основанием  $\frac{\pi d^2}{4}$ ) и объема полушара:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot H - \frac{\pi d^3}{12}$$

$$P_z = \rho g \frac{\pi d^2}{12} (3H - d) = \frac{\pi d^2}{12} (3P_0 + \rho g(3h - d))$$

Подставляя численные значения, получим

$$P_z = \frac{3,14 \cdot 1}{12} (3 \cdot 8 \cdot 10^6 + 10^4(12 - 1)) \text{н} = 6,28 \cdot 10^6 \text{н}$$

#### Решение к задаче 1.22

Силы, действующие с каждой стороны колена,  $P_1 = P_2 = p \frac{\pi d^2}{4}$ ,

Где  $P$ - давление в трубе. Открывающая силы определяется как равнодействующая  $P_1$  и  $P_2$ .

Из геометрии (при  $\alpha = 60^\circ$ )  $R = P_1 = P_2$ . Таким образом,

$$R = p \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,64 \cdot 10^6 = 5 \cdot 10^5 \text{н}$$

#### Решение к задаче 2.4

По условию задачи задано параболическое распределение продольной скорости в трубе с максимальной скоростью  $U_{max}$  на оси трубы ( $r=0$ ). Кинетическое условие несжимаемости жидкости

$$\text{div} \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

При заданном распределении скоростей все производные (в том числе  $\frac{\partial u}{\partial x}$ ) равны 0. Значит, заданное поле скоростей описывает течение *несжимаемой жидкости*.

Учитывая, что

$$2\vec{w} = \text{rot} \vec{V} = \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \vec{k}$$

Найдем

$$2w_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} = 0$$

$$2w_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = -\frac{U_{max}}{a^2} \cdot 2z$$

$$2w_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{U_{max}}{a^2} \cdot 2y$$

Так как  $w_y \neq 0$  и  $w_z \neq 0$ , движение вихревое. Подставив в дифференциальное уравнение вихревых линий

$$\frac{\delta y}{w_y} = \frac{\delta z}{w_z}$$

Значение  $w_y$  и  $w_z$ , получаем  $\frac{\delta y}{z} = \frac{\delta z}{-y}$ , после интегрирования которого получаем семейство вихревых линий в виде концентрических окружностей в плоскости поперечного сечения трубы

$$y^2 + z^2 = \text{const}$$

Средняя скорость находится из условия равенства объемных расходов, вычисленных по действительному распределению скоростей и по средней скорости:

$$\pi d^2 V_{cp} = \int_0^a 2\pi r u dr = 2\pi U_{max} \int_0^a \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) r dr$$

Вычислив интеграл, получим

$$\pi a^2 V_{cp} = \pi a^2 \frac{U_{max}}{2}$$

Откуда

$$V_{cp} = \frac{U_{max}}{2}$$

Решение к задаче 2.11

Физический смысл функции тока для несжимаемой жидкости- объемный расход на единицу глубины потока. Для идеальной жидкости распределение скоростей равномерное.

Значит,  $\Psi = V_c \cdot BC = a$ ;  $BC = \frac{a}{V_c}$

Решение к задаче 3.1

Объемный расход через скорость в узком сечении  $V_2$

$$Q = V_2 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Скорость  $V_2$  определим из уравнения Бернулли, записанного для I-I и узкого II-II сечений,

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

По условию задачи ;  $z_1 = z_2$ ,  $V_2 \frac{\pi d^2}{4} = V_1 \frac{\pi D^2}{4}$  откуда  $V_1 = V_2 \frac{d^2}{D^2}$

Подставив в уравнение Бернулли скорость  $V_1$  через  $V_2$ , учитывая также, что

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h$$

По условию задачи, найдем

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{d^4}{D^4}}} = \varphi \sqrt{2gh}$$

Где

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{d^4}{D^4}}}$$

Тогда объемный расход

$$Q = V_2 \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4} \varphi \sqrt{2gh} = C \sqrt{2gh}$$

$$C = \varphi \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4}}}$$

Решение к задаче 3.22

Так как перепады давления на участке магистрали  $l_1$  и на участке ответвления  $l_2$  одинаковы,

$$\Delta P_{l1} = \Delta P_{l2} + \Delta P_M$$

Где  $\Delta P_M$  -местное сопротивление на водометре

$$\lambda_1 \frac{l_1 \rho V_1^2}{D} \frac{1}{2} = \lambda_2 \frac{l_2 \rho V_2^2}{D} \frac{1}{2} + \xi_b \frac{\rho V_2^2}{2}$$

( $V_1$  и  $V_2$ -средние скорости)

Для шероховатых труб  $\lambda = \lambda(K_s/d)$ , поэтому вычислим сразу коэффициенты сопротивления трения на участке магистрали  $\lambda_1$  и на участке ответвления  $\lambda_2$  :

$$\lambda_1 = (2lg \frac{a}{k_s} + 1,74)^{-2} = (2lg \frac{0,6}{0,5 \cdot 10^{-3}} + 1,74)^{-2} = 0,016$$

$$\lambda_2 = (2lg \frac{26 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}} + 1,74)^{-2} = 0,0317$$

Заменяя средние скорости в равенстве (I) через расходы, найдем их значения:

$$\lambda_1 \frac{l_1 \rho}{D} \frac{4Q_1}{2} (\frac{4Q_1}{\pi D^2})^2 = \lambda_2 \frac{l_2 \rho}{D} \frac{4Q_2}{2} (\frac{4Q_2}{\pi d^2})^2 + \xi_B \frac{\rho}{2} (\frac{4Q_2}{\pi d^2})^2$$

Отсюда

$$Q_1 = \frac{D^2}{d^2} \sqrt{\frac{D}{\lambda_1 l_1} (\frac{\lambda_2 l_2}{d} + \xi_B)} \cdot Q_2$$

Подставляя численные значения, найдем

$$Q_1 = 5,513 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Расход на магистрали

$$Q = Q_1 + Q_2 = 5,414 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

### Критерии оценки:

1. знание теоретического материала;
2. умение применить данные знания при решении практических задач;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. умение проанализировать полученный результат.

### Описание шкалы оценивания:

Задача 1-6 оценивается в 5 баллов каждая, если правильно написаны формулы, найдены правильные значения из таблиц данных, найден правильный ответ и правильно написаны единицы измерения.

## ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2

Формулирование типового задания:

Рассчитать силу трения при обтекании пластины длиной L при ламинарном течении в пограничном слое на основе интегрального соотношения Кармана при синусоидальном распределении скоростей  $u = U_\alpha \sin(\alpha y)$

Найти местный и полный коэффициенты сопротивления трения; сравнить с точным решением Брауна.

Вариант №1

Среда-вода под давлением P=6 бар, температура t=100°C, скорость набегающего потока  $U_\infty = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , L=0,5 м.

Вариант №2

Среда-воздух под давлением P=2·10<sup>5</sup> Па, температура t=150°C, скорость набегающего потока  $U_\infty = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , L=1 м.

Другие варианты отличаются скоростью набегающего потока среды, давлением, температурой и длиной пластины

Вариант	Скорость набегающего потока $U_{\infty}$ (м/с) и среда	Давление P(бар)	Температура t <sup>0</sup> C	Длина пластины L(м)
3	8(вода)	6	100	2
4	7(вода)	60	200	1
5	10(вода)	1	90	0,5
6	100(воздух)	1,5	300	1,5
7	80(воздух)	1,5	20	1
8	10(вода)	6	120	0,5
9	5(вода)	1	60	1
10	100(воздух)	1	200	1
11	50(воздух)	2	150	2
12	75(воздух)	0,5	-20	2
13	6(вода)	10	150	1
14	90(воздух)	1,8	200	3
15	90(воздух)	1,8	120	2

**Критерии оценки:**

Домашнее задание закрепляет теоретический материал по разделу «Пограничный слой», необходимый для умения оценивать силы трения при внешнем обтекании тел или потерь давления на начальных участках каналов

**Описание шкалы оценивания:**

Максимальная сумма баллов за выполнение индивидуального домашнего задания -18 баллов; домашнее задание считается выполненным при получении 9 баллов.

В сумме баллов учитывается подробность изложения, оформления домашнего задания. При сдаче домашнего задания. При сдаче домашнего задания не в установленный срок, понижающий коэффициент 0,8; то есть максимальное количество баллов будет -14.