

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины

Компьютерная гидродинамика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.05.01 Фундаментальные математика и механика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части, к части, формируемой участниками образовательных отношений

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.04, «Компьютерная гидродинамика» относится к части ООП специальность 01.05.01 Фундаментальные математика и механика, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-6. Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1. Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его. ПК-6.2. Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения.	Умения самостоятельно анализировать задачу компьютерной гидродинамики, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его. Владения навыками решения практических задач, анализа результатов решения в области компьютерной гидродинамики	<i>Собеседование Контрольная работа Контрольная работа</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 з.е.
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	32
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2
самостоятельная работа	22
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		ЗЛеТ ₂	ЗСеТ ₃	ЗЛаТ ₄	Всего	
Введение	2		2		2	
Идеальная жидкость. Уравнения Эйлера. Гидростатика	10	2	4		6	4
Потенциальное обтекание сферы, цилиндра	14	4	6		10	4
Волны на поверхности жидкости	12	2	6		8	4
Гидродинамика вязкой жидкости	16	4	6		10	6
Устойчивость течения жидкости. Турбулентное течение	16	4	8		12	4
Контроль самостоятельной работы	2					
Промежуточная аттестация	36					
Итого	108	16	32		48	22
¹ Самостоятельная работа обучающегося.						
² Занятия лекционного типа.						
³ Занятия семинарского типа.						
⁴ Занятия лабораторного типа.						

Краткое содержание разделов и тем дисциплины

1. Способы описания движения жидкости: способы задания движения жидкости по Эйлеру и по Лагранжу, переход от одного описания к другому, субстанциональная и локальная производные по времени.
2. Гидростатика: основные уравнения, условия гидростатического равновесия.
3. Поверхности разрыва. Ударные волны. Ударная адиабата.
4. Теорема Бернулли и закон сохранения энергии.
5. Особенности газовой динамики. Число Маха. Характеристическая поверхность.
6. Закон сохранения энергии в нестационарном случае.
7. Распространение звука в движущейся среде. Эффект Доплера.
8. Тензор плотности потока импульса. Закон сохранения импульса.
9. Тензор плотности потока импульса. Закон сохранения импульса.
10. Вихревое движение жидкости: циркуляция скорости, теорема о сохранении циркуляции скорости.
11. Уравнения гидродинамики для потенциального движения: потенциал скорости, интеграл Коши-Лагранжа, плоское течение, функция тока.
12. Обтекание сферы потенциальным потоком. Парадокс Даламбера – Эйлера.
13. Турбулентное течение. Уравнение Рейнольдса для усредненного потока.
14. Циркуляционное обтекание цилиндра. Формула Жуковского.
15. Подобие гидродинамических течений. Число Рейнольдса. Число Фруда. Число Струхала.
16. Вихри в идеальной жидкости. Присоединенный вихрь и подъемная сила.
17. Стационарное течение жидкости между вращающимися цилиндрами.
18. Поверхностные явления. Поверхностное давление. Формула Лапласа.

19. Турбулентное течение. Переход от ламинарного течения к турбулентному течению. Развитая турбулентность
20. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости: коэффициенты вязкости и вязкие напряжения, уравнение Навье-Стокса, вязкие силы, граничные условия
21. Устойчивость стационарного движения жидкости. Устойчивость движения жидкости в пространстве между двумя вращающимися цилиндрами.
22. Волны на поверхности жидкости: гравитационные волны.
23. Неустойчивость тангенциального разрыва.
24. Волны на поверхности жидкости: капиллярные волны, гравитационно-капиллярные волны.
25. Пограничный слой: вязкие волны, уравнения Прандтля пограничного слоя.
26. 1. Система уравнений гидродинамики: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, полнота системы уравнений. Уравнение состояния.
27. Примеры течений вязкой жидкости: течение Куэтта, течение Пуазейля между двумя пластинками.
28. Волны на поверхности жидкости: капиллярные волны, гравитационно-капиллярные волны.
29. Пограничный слой: вязкие волны, уравнения Прандтля пограничного слоя.
30. Система уравнений гидродинамики: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, полнота системы уравнений. Уравнение состояния.
31. Примеры течений вязкой жидкости: течение Куэтта, течение Пуазейля между двумя пластинками.
32. Уравнение Навье-Стокса, граничные условия.
33. Обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости. Формула Стокса.
34. Гидродинамическая теория смазки. Плоская задача.
35. Течение при малых числах Рейнольдса. Обтекание тела произвольной формы.

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: решения и анализа задач, результатов решения в области компьютерной гидродинамики
- компетенций – ПК-6.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

4.. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

4.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)
-----------------------------------	--

компетенций		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
неудовлетворительно		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
очень хорошо		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
		несущественных ошибок	объеме, но некоторые с недочетами.	недочетов.
	отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не

Оценка		Уровень подготовки
		ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.1. Типовые контрольные задания необходимые для оценки результатов обучения

5.1.1. Контрольные вопросы (ПК-6)

6. Симметрия тела, системы. Операция симметрии. Группы симметрии
7. Неприводимые представления точечных групп симметрии
8. Симметрия упругих свойств материала
9. Малые колебания динамической системы. Нахождение полного представления точечной группы симметрии системы.
10. Непрерывные группы. Элементы групп Ли. .
11. Неприводимые тензоры и их свойства. Шаровые векторы.
12. Инвариантное представление потенциальных физических взаимодействий.
13. Физический смысл неприводимых тензоров.
14. Движение твердого тела под действием сил потенциальной природы. Задачи механики космического полета.
15. Уравнения движения в оскулирующих переменных.
16. Эволюционные движения тела в осесимметричном поле.
17. Движение спутника относительно центра масс в гравитационном и магнитном полях Земли.

5.2.2 . В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы

1. повторение пройденного на занятиях материала,
2. самостоятельное изучение отдельных вопросов программы,
3. подготовка к практическим занятиям,

Важной формой самостоятельной работы студентов является исследование по теме, подготовка доклада на семинаре.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. т.3 . Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М. Наука. 1963. 702 с. (1 экз.)
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория- Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 800 с. - ВО – Бакалавриат
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741026&idb=0>
3. Любарский Г.Я. Теория групп и физика. М. Наука. 1986. 224 с. (1 экз.)
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=66328&idb=0>
4. Урман Ю.М. Теория симметрии в классических системах. Учебное пособие. Н.Новгород. НГПУ. 2009. 109 с.

б) дополнительная литература

1. Журавлев Виктор Филиппович. Основы теоретической механики. - М. : Физматлит, 2008. - 304 с. (10 экз.) <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=434814&idb=0>

2. Шапиро Д.А. Представление групп и их применение в физике. Конспект лекций, НГУ. 2000 (www.newlibrary.ru)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.05.01 Фундаментальные математика и механика.

Автор д.ф.-м.н., профессор Новиков В.В.

Заведующий кафедрой
теоретической,
компьютерной и
экспериментальной
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.