

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Гидродинамика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и вычислительная математика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.05 Гидродинамика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4: Способен применять методы математического и компьютерного исследования при анализе задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук	ПК-4.1: Знает фундаментальные и теоретические основы, необходимые для исследования научных проблем ПК-4.2: Умеет самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определять цели и задачи исследования, а также выбирать корректный метод исследования научной проблемы ПК-4.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой	ПК-4.1: Знать теоретические основы фундаментальных методов исследования научных проблем ПК-4.2: Уметь самостоятельно применять полученные знания для анализа объекта исследования, определения целей и задач исследования, а также выбора корректного метода исследования научной проблемы. ПК-4.3: Владеть опытом применения методы математического и компьютерного исследования, при решении задач гидродинамики в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой	Задачи Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	

- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	48
- КСР	2
самостоятельная работа	10
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение	2	2		2	
Идеальная жидкость. уравнения Эйлера. Гидростатика	25	10	12	22	3
Потенциальное обтекание сферы, цилиндра	16	6	8	14	2
Волны на поверхности жидкости	15	6	8	14	1
Гидродинамика вязкой жидкости	15	8	6	14	1
Устойчивость течения жидкости. Турбулентное течение	13	6	6	12	1
Звук	7	4	2	6	1
Газовая динамика	13	6	6	12	1
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	48	48	98	10

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Способы описания движения жидкости: эйлеров и лагранжевы способы задания движения жидкости, переход от одного описания к другому, субстанциональные и локальные производные по времени. Система уравнений гидродинамики идеальной жидкости: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, полнота системы уравнений, уравнение состояния.
2. Гидростатика: основные уравнения, условия гидростатического равновесия, частота Вайселя.
3. Теорема Бернулли и закон сохранения энергии: теорема Бернулли и некоторые применения теоремы, теорема Бернулли как следствие закона сохранения энергии, закон сохранения энергии в нестационарном случае.
4. Закон сохранения импульса: тензор плотности потока импульса, теорема Эйлера и ее применение.
5. Вихревое движение жидкости: циркуляция скорости, теорема о сохранении циркуляции скорости, теоремы Гельмгольца о вихрях.

6. Уравнения гидродинамики для потенциального движения: потенциал скорости, плоское течение функция тока.

Применение теории аналитических функций в задачах гидродинамики: комплексный потенциал, примеры двумерных течений конформные преобразования.

7. Обтекание сферы потенциальным потоком, парадокс Даламбера-Эйлера. Стационарное обтекание кругового цилиндра: циркуляционное обтекание цилиндра, подъемная сила, формула Жуковского.

8. Гравитационные поверхностные волны: основные уравнения, гармонические волны, дисперсионное уравнение, приближения мелкой и глубокой воды, энергия волн.

9. Поверхностные явления. Формула Лапласа. Капиллярные волны на поверхности жидкости: чисто капиллярные волны, гравитационно-капиллярные волны.

10. Уравнения гидродинамики вязкой жидкости: коэффициент вязкости и вязкие напряжения, уравнение Навье-Стокса, вязкие силы. Примеры течений вязкой жидкости: течение Куэтта, течение Пуазейля между двумя пластинками, течение Пуазейля в круглой трубе, обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости, формула Стокса. Стационарное течение жидкости между вращающимися цилиндрами.

11. Подобие гидродинамических течений. Число Рейнольдса. Число Фруда. Число Струхала. Течение при малых числах Рейнольдса. Обтекание тела произвольной формы.

12. Пограничный слой, вязкие волны, уравнения Прандтля пограничного слоя.

13. Устойчивость стационарного движения жидкости. Устойчивость движения жидкости в пространстве между двумя вращающимися цилиндрами. Неустойчивость тангенциального разрыва.

14. Турбулентное течение. Переход от ламинарного течения к турбулентному течению. Развитая турбулентность. Уравнение Рейнольдса для усредненного потока.

15. Звуковые волны. Монохроматические волны. Энергия звуковой волны. Геометрическая акустика. Распространение звука в движущейся среде. Эффект Доплера.

16. Особенности газовой динамики. Число Маха. Характеристическая поверхность. Стационарный поток сжимаемой жидкости.

17. Поверхности разрыва. Ударные волны. Ударная адиабата. Истечение газа через сопло. Сопло Лаваля.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Доказать, что поле скорости потенциально, и найти его потенциал φ .
2. Масса жидкости движется так, что каждая частица описывает окружность, перпендикулярную к постоянной оси и с центром на ней. Показать, что уравнение неразрывности принимает вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial \theta} = 0,$$

где ω - угловая скорость для частицы, положение которой определяется цилиндрическими координатами r, θ, z .

.Записать уравнение Эйлера в форме Громэко - Лэмба:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \text{grad} \left(\frac{v^2}{2} + w - gz \right) = [\vec{v}, \text{rot} \vec{v}],$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Подobie, моделирование и примеры приложения теории размерности.
2. Применение теории размерности к определению структуры решений уравнения Навье- Стокса. Понятие об автомодельных решениях.
3. Теплопроводность в жидкости.

4. Автомодельные решения уравнений теплопроводности.

5. Волны во вращающейся жидкости.

6. Устойчивость параллельных течений.

7. Уравнения магнитной гидродинамики.

8. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные

	вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

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. Система уравнений гидродинамики идеальной жидкости: уравнение неразрывности, уравнение Эйлера, уравнение состояния. Граничные условия.
3. Гидростатика: основные уравнения, условия гидростатического равновесия
4. Теорема Бернулли
5. Закон сохранения энергии в нестационарном случае
6. Тензор плотности потока импульса. Закон сохранения импульса
7. Вихревое движение жидкости: циркуляция скорости, теорема о сохранении циркуляции скорости.
8. Уравнения гидродинамики для потенциального движения: потенциал скорости, интеграл Коши-Лагранжа, плоское течение, функция тока.
9. Обтекание сферы потенциальным потоком.
10. Парадокс Даламбера - Эйлера.
11. Циркуляционное обтекание цилиндра. Формула Жуковского.
12. Вихри в идеальной жидкости. Присоединенный вихрь и подъемная сила.
13. Поверхностные явления. Поверхностное давление. Формула Лапласа.
14. Волны на поверхности жидкости: гравитационные волны, капиллярные волны, гравитационно-капиллярные волны.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.

Оценка	Критерии оценивания
	Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Кочин Николай Евграфович. Теоретическая гидромеханика : [учеб. для ун-тов]. Ч. 1 / под ред. И. А. Кибеля. - 6-е изд., испр. и доп. - М. : Физматгиз, 1963. - 583 с. : с черт. - 1.10., 45 экз.
2. Кочин Николай Евграфович. Теоретическая гидромеханика : [учеб. для ун-тов]. Ч. 2 / под ред. И. А. Кибеля. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматгиз, 1963. - 727 с. : с черт. - 1.39., 33 экз.
3. Основы механики сплошных сред. Электронный задачник "Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика" : учебно-методический комплекс / С. Н. Гурбатов, И. Ю. Грязнова, И. Ю. Демин [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 95 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851181&idb=0>.
4. Кочин Николай Евграфович. Теоретическая гидромеханика : [учеб. для ун-тов]. Ч. 1 / под ред. И. А. Кибеля. - 6-е изд., испр. и доп. - М. : Физматгиз, 1963. - 583 с. : с черт. - 1.10., 45 экз.
5. Кочин Николай Евграфович. Теоретическая гидромеханика : [учеб. для ун-тов]. Ч. 2 / под ред. И. А. Кибеля. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматгиз, 1963. - 727 с. : с черт. - 1.39., 33 экз.
6. Основы механики сплошных сред. Электронный задачник "Основы механики сплошных сред: гидромеханика и акустика" : учебно-методический комплекс / С. Н. Гурбатов, И. Ю. Грязнова, И. Ю. Демин [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 95 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851181&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 6. Гидродинамика / под ред. Л. П. Питаевского. - Изд. 5-е, стер. - М. : Физматлит, 2003. - 736 с. - ISBN 5-9221-0053-X. - ISBN 5-9221-0121-8 (т. 6) : 173.00., 2 экз.
2. Дразин Филипп. Введение в теорию гидродинамической устойчивости = Introduction to hydrodynamic stability / [пер. с англ. Г. Г. Цыпкина ; под. ред. А. Т. Ильичева]. - М. : Физматлит, 2005. - 288 с. - ISBN 5-9221-0629-5 (рус.). - ISBN 0-521-80427-2 (англ.) : 39.00., 2 экз.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 6. Гидродинамика / под ред. Л. П. Питаевского. - Изд. 5-е, стер. - М. : Физматлит, 2003. - 736 с. - ISBN 5-9221-0053-X. - ISBN 5-9221-0121-8 (т. 6) : 173.00., 2 экз.
4. Дразин Филипп. Введение в теорию гидродинамической устойчивости = Introduction to hydrodynamic stability / [пер. с англ. Г. Г. Цыпкина ; под. ред. А. Т. Ильичева]. - М. : Физматлит,

2005. - 288 с. - ISBN 5-9221-0629-5 (рус.). - ISBN 0-521-80427-2 (англ.) : 39.00., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch1_1963ru.djvu

http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch2_1963ru.djvu

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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 по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Новиков Валерий Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.