

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
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины
Основы гидроупругости и аналитической гидромеханики**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.04.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород
2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится 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 <i>Б1.В.ДВ.02. Основы гидроупругости и аналитической гидромеханики</i> относится к части ООП направления подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование, 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-10. Владение навыками применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах, реализации в них собственных методов, моделей и алгоритмов	ПК-10.1. Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук.	Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук основы информационных технологий при решении задач в области гидроупругих систем.	<i>Собеседование,</i>
	ПК-10.2. Умеет ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики.	Умеет самостоятельно анализировать поставленную задачу, выбирать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы.	<i>Выполнение заданий</i>
	ПК-10.3. Имеет практический опыт использования математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах	Имеет практический опыт использования на практике аппарата современной аналитической гидромеханики для математического и численного моделирования различных физических процессов.	<i>Собеседование по отчетам о выполненных работах</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	4 з.е.

Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	79
Промежуточная аттестация –	зачет

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.	15	2	2		4	11
Изгибные колебания прямолинейного трубопровода.	19	4	4		8	11
Проблема собственных значений.	27	8	8		16	11
Приближенные методы решения проблемы собственных значений.	24	6	6		12	12
Исследование потери устойчивости гидроупругих систем	24	6	6		12	12
Вынужденные колебания	19	4	4		8	11
Обзор курса	15	2	2		4	11
Текущий контроль	1					
Итого	144	32	32		64	79
¹ Самостоятельная работа обучающегося.						
² Занятия лекционного типа.						
³ Занятия семинарского типа.						
⁴ Занятия лабораторного типа.						

Краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

1. Введение. Уравнение Мещерского. Принцип Гамильтона-Остроградского для систем переменного состава.
2. Изгибные колебания прямолинейного трубопровода. Гидроупругие системы. Взаимодействие конструкции с жидкостью. Физика. Уравнения изгибных колебаний трубы.
3. Проблема собственных значений. Постановка проблемы собственных значений, зависимость решения от свойств операторов. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольно закрепленного и шарнирно закрепленного стержня.
4. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина.
5. Исследование потери устойчивости гидроупругих систем. Исследование потери устойчивости гидроупругих систем на примере прямолинейного трубопровода, транспортирующего жидкость, при различных граничных условиях. Динамическая и статическая потеря устойчивости. Консервативная и не консервативная потеря устойчивости.
6. Вынужденные колебания. Исследование вынужденных колебаний распределенных гидроупругих систем на примере криволинейного трубопровода.

7. Обзор курса. Подготовка к промежуточной аттестации.

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: планирование и проведение расчётно-экспериментальных исследований прочности конструкций при различных видах внешних воздействий; использования на практике аппарата современной аналитической гидромеханики для математического и численного моделирования различных физических процессов
- компетенций - ПК-10.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий), расчётно-графических работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачету*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
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	Продemonстрированы основные умения.	Имеется минимальный набор навыков для

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
		знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	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 несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и 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 ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция

Оценка		Уровень подготовки
		сформирована на уровне «удовлетворительно»
незачтено	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»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Уравнение Мещерского. Принцип Гамильтона-Остроградского для тела переменной массы. Вывод.	ПК-2
2. Гидроупругие системы. Взаимодействие конструкции с жидкостью. Физика.	ПК-10
3. Вывод уравнений изгибных колебаний прямого трубопровода с потоком жидкости. Альтернативные, геометрические и физические краевые условия в случае изгибных колебаний прямого трубопровода с потоком жидкости.	ПК-10
4. Матрично-операторная форма уравнений колебаний прямого трубопровода с потоком жидкости. Анализ уравнения изгибных колебаний трубы по выражению, характеризующего изменение энергии системы.	ПК-10
5. Проблема собственных значений. Постановка, зависимость решения от свойств операторов.	ПК-10
6. Постановка и решение проблемы собственных значений для шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.	ПК-10
7. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольного прямого трубопровода с потоком жидкости.	ПК-10
8. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея.	ПК-10
9. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца.	ПК-10
10. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Бубнова-Галеркина. Базисные функции.	ПК-10
11. Исследование устойчивости шарнирно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.	ПК-10
12. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.	ПК-10
13. Исследование устойчивости консольно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.	ПК-10
14. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.	ПК-10
15. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости при наличии сжимающей нагрузки.	ПК-10
16. Исследование вынужденных колебаний распределенных систем на примере криволинейного трубопровода.	ПК-10
17. О статической и динамической потери устойчивости. О консервативной и неконсервативной потери устойчивости. Физический и математический смысл. Примеры.	ПК-10

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-10

1. Написать уравнение продольных колебаний прямолинейного трубопровода, транспортирующего поток жидкости, в матричной форме, у которого один конец закреплен шарнирно, а другой свободен.
2. Написать уравнение продольных колебаний прямолинейного трубопровода с жестко закрепленными концами, транспортирующего поток жидкости, в матричной форме.

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-10

1. Написать уравнение продольных колебаний прямолинейного трубопровода, транспортирующего поток жидкости у которого оба конца закреплены шарнирно. Проверить операторы на самосопряженность.
2. Написать уравнение продольных колебаний прямолинейного трубопровода, транспортирующего поток жидкости у которого один конец закреплен шарнирно, а второй жестко. Проверить операторы на самосопряженность.

5.2.4. Пример задания для расчетно-графической работы

Уравнение поперечных колебаний трубопровода с постоянным потоком несжимаемой жидкости имеет вид:

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + Mv^2 \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} + 2Mv \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x \partial t} + (m + M) \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0,$$

где EI – изгибная жесткость трубопровода, m – распределенная масса трубопровода, M – распределенная масса жидкости.

Оба конца трубопровода жестко закреплены: $y(x,t)|_{x=0} = y(x,t)|_{x=l} = 0$,

$$\left. \frac{dy(x,t)}{dx} \right|_{x=0} = \left. \frac{dy(x,t)}{dx} \right|_{x=l} = 0 \quad (l - \text{длина трубопровода}).$$

Оценка сформированности компетенции ПК-10.

Поставить задачу проблемы нахождения собственных значений и собственных форм деформации для упрощенной задачи в случае отсутствия движения жидкости. Найти первые три собственных значения и соответствующие им формы деформации.

Найти первые три формы деформации в полиномиальном виде из условий согласования с граничными условиями и условиями ортонормированности форм и построить их график. Провести сравнительный анализ этих форм с формами, полученными из задачи на проблему собственных значений, используя метод среднего квадратичного отклонения в n узловых точках ($n=1000$).

Для наглядности соответствующие формы деформации, полученные разными подходами, должны быть изображены на одном графике.

Оценка сформированности компетенции ПК-10.

Проверить операторы задачи на самосопряженность.

Найти критическое значение скорости потока жидкости, при которой происходит потеря устойчивости.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Смирнов Л.В., Капитанов Д.В. Динамика упругого сжатого стержня при потере устойчивости: Учебно-методическое пособие. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. – 20 с. (http://www.unn.ru/books/met_files/dynamic.doc)
2. Элементы теории колебаний: Учеб. пособие для вузов. – 2е изд., перераб. и доп. / В.Д. Горяченко – М: Высш. шк., 2001. – 395с. 390экз.

б) дополнительная литература:

1. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. – М.: Государственное издательство физико–математической литературы, 1961. – 340 с.
(<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Bolotin1961ru.djvu>)
2. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем (2-е изд.). М.: Наука, 1967
(<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Volmir1967ru.djvu>)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 по направлению 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

Автор

к.ф.-м.н., доцент Капитанов Д.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 30.11.2022 года, протокол № 3.