

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 Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы гидроупругости и аналитической гидромеханики

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование физико-механических процессов

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Основы гидроупругости и аналитической гидромеханики 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 разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1: Знать методы математического и экспериментального исследования при решении задач в области гидроупругих систем на основе знаний фундаментальных физико-математических и компьютерных наук.</p> <p>ПК-4.2: Уметь использовать на практике математический аппарат и современные программные комплексы для описания динамики механических моделей.</p> <p>ПК-4.3: Владеть навыками применения проблемно-задачной формы представления научных знаний в области гидроупругих механических систем.</p>	Расчетно-графическая работа	Экзамен: Контрольные вопросы Задания
ПК-5: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач	<p>ПК-5.1: Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.2: Умеет применять</p>	<p>ПК-5.1: Знать основные понятия и правила распределенных гидроупругих систем.</p> <p>ПК-5.2: Уметь самостоятельно анализировать поставленную</p>	Расчетно-графическая работа	Экзамен: Задания Контрольные вопросы

научной деятельности	<p>типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.3: Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p>	<p>задачу, выбирать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы.</p> <p>ПК-5.3: Владеть навыками использования на практике аппарата современной аналитической гидромеханики для математического и численного моделирования различных физических процессов для решения задач научной деятельности.</p>		
----------------------	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	78
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			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабора	Всего	

			торные работы), часы		
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение	10	2	2	4	6
Изгибные колебания прямолинейного трубопровода	14	4	4	8	6
Проблема собственных значений	32	8	8	16	16
Приближенные методы решения проблемы собственных значений	28	6	6	12	16
Исследование потери устойчивости гидроупругих систем	28	6	6	12	16
Вынужденные колебания	16	4	4	8	8
Обзор курса	14	2	2	4	10
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	180	32	32	66	78

Содержание разделов и тем дисциплины

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.

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 - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

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 свободны: $\frac{d^2 y(x,t)}{dx^2} \Big|_{x=0} = 0$, $\frac{d^2 y(x,t)}{dx^2} \Big|_{x=l} = 0$, $\frac{d^3 y(x,t)}{dx^3} \Big|_{x=0} = 0$,

$$\frac{d^3 y(x,t)}{dx^3} \Big|_{x=l} = 0 \quad (l - \text{длина трубопровода}).$$

Проверить операторы задачи на самосопряженность и положительноопределенность.

Найти критическое значение скорости потока жидкости, при которой происходит потеря устойчивости (по двухмодовому и трехмодовому приближению).

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

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 свободны: $\frac{d^2 y(x,t)}{dx^2} \Big|_{x=0} = 0$, $\frac{d^2 y(x,t)}{dx^2} \Big|_{x=l} = 0$, $\frac{d^3 y(x,t)}{dx^3} \Big|_{x=0} = 0$,

$$\frac{d^3 y(x,t)}{dx^3} \Big|_{x=l} = 0 \quad (l - \text{длина трубопровода}).$$

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 квадратического отклонения в n узловых точках ($n=1000$).

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

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

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.

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора 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 не существенных 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 вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнен	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами		ы все задания в полном объеме	
<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. Уравнение Мещерского. Принцип Гамильтона-Остроградского для тела переменной массы. Вывод.
2. Гидроупругие системы. Взаимодействие конструкции с жидкостью. Физика.
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.

4. Матрично-операторная форма уравнений колебаний прямого трубопровода с потоком жидкости. Анализ уравнения изгибных колебаний трубы по выражению, характеризующего изменение энергии системы.
5. Проблема собственных значений. Постановка, зависимость решения от свойств операторов.
6. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея.
7. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца.
8. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Бубнова-Галеркина. Базисные функции.
9. Статическая и динамическая потеря устойчивости. Консервативная и неконсервативная потеря устойчивости. Физический и математический смысл. Примеры.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Постановка и решение проблемы собственных значений для шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.
2. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольного прямого трубопровода с потоком жидкости.
3. Исследование устойчивости шарнирно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.
4. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.
5. Исследование устойчивости консольно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.
6. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.
7. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости при наличии сжимающей нагрузки.
8. Исследование вынужденных колебаний распределенных систем на примере криволинейного трубопровода.

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. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок

Оценка	Критерии оценивания
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Написать в матричной форме уравнение изгибных колебаний транспортирующего поток жидкости трубопровода при наличии вязкого трения, у которого один конец закреплен жестко, а второй не может поворачиваться, а в остальном свободный.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-5

Проверить на самосопряженность оператор демпфирования в уравнении изгибных колебаний транспортирующего поток жидкости трубопровода при наличии вязкого трения, у которого один конец закреплен жестко, а другой – шарнирно.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

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. 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. Смирнов Лев Васильевич. Динамика упругого сжатого стержня при потере устойчивости : учебно-методическое пособие / Л. В. Смирнов, Д. В. Капитанов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 15 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849906&idb=0>.
2. Горяченко Вадим Демьянович. Элементы теории колебаний : учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2001. - 395 с. - ISBN 5-06-004166-2 : 80.85., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Болотин Владимир Васильевич. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. - М. : Физматгиз, 1961. - 339 с. : черт. - 1.04., 2 экз.
2. Вольмир Арнольд Сергеевич. Устойчивость деформируемых систем. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1967. - 984 с. : ил. - 4.17., 3 экз.

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

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

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 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Капитанов Денис Владимирович, кандидат физико-математических наук.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.