

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**

Основы гидроупругости и аналитической гидромеханики

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

01.04.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 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-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. ПК-10.2: Умеет ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики. ПК-10.3: Имеет практический опыт использования математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах	ПК-10.1: Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук основы информационных технологий при решении задач в области гидроупругих систем.  ПК-10.2: Умеет самостоятельно анализировать поставленную задачу, выбирать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы.  ПК-10.3: Имеет практический опыт использования на практике аппарата современной аналитической гидромеханики для математического и численного моделирования различных физических процессов.	Собеседование	Зачёт: Контрольная работа

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>79</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

### 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	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
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
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	144	32	32	65	79

#### 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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-10:**

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. Постановка и решение проблемы собственных значений для шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.

7. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольного прямого трубопровода с потоком жидкости.
8. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея.
9. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца.
10. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Бубнова-Галеркина. Базисные функции.
11. Исследование устойчивости шарнирно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.
12. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости шарнирно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.
13. Исследование устойчивости консольно закрепленного трубопровода с использованием метода Бубнова-Галеркина с применением функций Крылова и полиномов.
14. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости.
15. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольно закрепленного прямого трубопровода с потоком жидкости при наличии сжимающей нагрузки.
16. Исследование вынужденных колебаний распределенных систем на примере криволинейного трубопровода.
17. О статической и динамической потере устойчивости. О консервативной и неконсервативной потере устойчивости. Физический и математический смысл. Примеры.

#### 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 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 (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического	Уровень знаний ниже минимальных	Минимально допустимы	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,

	материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	требований. Имели место грубые ошибки	й уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько несуществе нных ошибок	соответств ующем программе подготовк и. Ошибок нет.	превышающе м 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 недочетами	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 отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные 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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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 - Контрольная работа) 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.

##### 5.2.4. 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:  $y(x,t)|_{x=0} = y(x,t)|_{x=l} = 0$ ,

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

##### 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 квадратического 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.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная 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 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.

### 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 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

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 13.12.2023, протокол № 3.