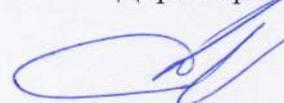


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
(ИПМех РАН)**

«Утверждаю»
Директор ИПМех РАН

 д.ф.-м.н.
С.Е. Якуш

«28» сентября 2018 г.

**Рабочая программа учебной дисциплины (РПУД)
«Виброакустика тонкостенных конструкций»**

**Направление подготовки 01.06.01 Математика и механика
Специальность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела**

**Форма подготовки (очная)
Отдел аспирантуры ИПМех РАН**

Всего 180 часов, всего зачетных единиц – 5

Аудиторных часов – 68, в том числе:

лекции – 68 часов

Самостоятельная работа – 112 часов

Рабочая программа составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 30 июля 2014 г. № 866 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)".

Составитель: д.ф.-м.н., Попов А.Л.

Заведующий отделом аспирантуры: к.ф.-м.н. Щелчкова И.Н.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели дисциплины: овладение:

- основами теории и методов анализа динамического взаимодействия тонкостенных упругих элементов конструкций с контактирующими акустическими средами как единой колебательной системы,
- закономерностями формирования и передачи виброакустического поля элементами конструкций и обратного влияния виброзвукоизлучения на динамическое поведение конструкций.

Задачами дисциплины являются: формирование компетенций обучающихся в области:

- корректных постановок задач акустоупругости (создании расчётных схем, формулировок основных уравнений и граничных условий задач);
- методов решения таких задач с упором на аналитические и асимптотические подходы, обеспечивающих понимание взаимосвязи результатов решения с параметрами исходных постановок задач;
- практических навыков решения задач снижения шумности и вибраций элементов конструкций, звукоизоляции, идентификации дефектов по искажениям проходящих и излучаемых конструкцией виброакустических полей.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина относится к Базовой части основных профессиональных образовательных программ высшего образования - программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Кандидатский экзамен по специальности является формой промежуточной аттестации при освоении программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

В соответствии с требованиями к подготовке аспирантов (экстернов), данная дисциплина рассматривается как составляющая следующих компетенций

по ФГОС:

1. ОК-9: «Способность использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности»;
2. ПК-3: «Способность критически анализировать современные проблемы науки с учётом потребностей промышленности, современных достижений и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты»
3. ПК-12: «Способность осознавать, критически оценивать и анализировать вклад своей предметной области в решении экологических проблем и проблем безопасности».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Окончившие курс обучения по данной программе должны владеть навыками применения фундаментальных законов в области механики и акустики при решении задач вибро- и звукоизоляции конструкций, уметь критически анализировать проблемы и полученные результаты в сопоставлении с результатами других авторов и экспериментальными измерениями, применять полученные знания к формулировкам и решению прикладных задач механики и акустики исходя из современных проблем техники и технологий, знать состояние современных технологий в области виброзвукоизоляции, быть способным работать в направлении их совершенствования и оптимизации с учётом экономических и экологических требований.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц,
180 академических часов.

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

4.1 Структура дисциплины

	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				лекц.	Лаб.	прак.	КСР.		
1	Виброакустика тонкостенных конструкций	180	126			126		18	Зачёт с оценкой

4.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Неделя обучения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость (в часах)			Формы текущего контроля Успеваемости. Форма промежуточной аттестации
			Контактная работа с обучающимися		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические занятия		
1	Постановка основных задач и некоторые методы их решения.	1-2	2	4	6	
2	Изгибные волны в бесконечной упругой пластине и поверхностные волны в акустической среде.	3-4	2	4	18	3-ая неделя: выдача РГР
3	Колебания бесконечной пластины, контактирующей с акустической средой, при сосредоточенных воздействиях.	5-6	2	4	22	6-ая неделя: устный опрос
4	Колебания и звукоизлучение ограниченных пластин под сосредоточенными нагрузками.	7-8	2	4	23	8-ая неделя: сдача и защита РГР

5	Колебания оболочек в контакте с акустической средой. Коэффициенты присоединённых масс. Переходные поверхности.	9-10	2	4	23	
6	Основные методы виброзащиты конструкций.	11-12	2	4	23	
7	Звукоизоляция локальных источников плоскими экранами и замкнутыми оболочками. Звукопоглощающие покрытия.	13-14	2	4	23	13-ая неделя: контрольная работа
Итого:		14	14	28	138	Зачёт с оценкой

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.2.1 Содержание лекционных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Постановка основных задач и некоторые методы их решения.	Предмет «Современные проблемы в области прикладной механики». Внутренняя и внешняя задачи. Акустическое приближение для идеальной сжимаемой жидкости. Условия на границе контакта, условие регулярности и условие излучения Зоммерфельда. Давление и потенциал. Интегральная формула Кирхгофа. Технические задачи, приводящие к задачам динамической акустоупругости и излучения оболочек и пластин. Некоторые методы решения.	2
2	Изгибные волны в бесконечной упругой пластине и поверхностные волны в акустической среде.	Плоские изгибные волны, бегущие по бесконечной пластине на жидком полупространстве. Понятие о присоединённой массе. Условие совместности колебаний пластины и жидкости. Дисперсионное уравнение. Асимптотический анализ уравнения и классификация его корней. Связь изгибных волн в пластине с неоднородными поверхностными волнами в акустической среде. Определение быстро- и медленноменяющихся волн.	2
3	Колебания бесконечной пластины, контактирующей с акустической средой, при сосредоточенных воздействиях.	Сведение к решению на поверхности контакта. Быстроменяющаяся компонента решения. Осциллирующие интегралы и интегралы внутреннего краевого эффекта. Условия для определения постоянных интегрирования. Асимптотическое определение присоединённой массы среды через положительный корень дисперсионного уравнения для бегущих волн. Случай несжимаемой жидкости.	2
4	Колебания и звукоизлучение ограниченных пластин под сосредоточенными нагрузками.	Решения задач о вынужденных акустоупругих колебаниях и звукоизлучении пластины-полосы под линейно-сосредоточенной нагрузкой и круглой пластины под сосредоточенной силой: метод выделения главной особенности, метод разложения по собственным формам колебаний в вакууме, метод плоских волн.	2

5	Колебания оболочек в контакте с акустической средой. Коэффициенты присоединённых масс. Переходные поверхности.	Быстро- и медленноменяющиеся решения уравнений колебаний оболочки и их связь с асимптотиками ближнего поля в среде. Коэффициенты присоединённых масс. Характеристическое уравнение и его корни. Интегралы разрешающей системы. Выделение особенностей решения в точках приложения сосредоточенных сил. Построение точного решения с помощью разложений по сферическим функциям. Сопоставление с приближенным решением в случаях несжимаемой и сжимаемой жидкости. Амплитудно-частотные зависимости. Переходные поверхности в акустической среде и переходные линии на поверхности оболочки.	2
6	Основные методы виброзащиты конструкций.	Однокаскадная виброизоляция. Двух- и многокаскадная виброизоляция. Учёт диссипативных сил. Коэффициент пространственного затухания. Определение коэффициентов виброизоляция упругих волн на стандартных препятствиях.	2
7	Звукоизоляция локальных источников плоскими экранами и замкнутыми оболочками. Звукопоглощающие покрытия.	Звукоизоляция локальных источников замкнутыми оболочками. Волны в цилиндрическом объёме при внецентренном расположении источника. Влияние звукопоглощающих слоёв и их расположения. Плоские звукоизолирующие экраны. Проходящие и отражённые волны. Активные методы компенсации передачи вибраций и звука. Условия пассивной компенсации звукового поля за экраном.	2
		Итого	14

4.2.2 Перечень практических занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Постановка основных задач и некоторые методы их решения.	Построение решений задач о плоских бегущих изгибных волнах для пластин в контакте и без контакта с акустической средой.	4
2	Изгибные волны в бесконечной упругой пластине и поверхностные волны в акустической среде.	Нахождение предела применимости динамических уравнений классической теории пластин по изменемости решений и частотному параметру. Асимптотическое определение коэффициента присоединённой массы среды.	4
3	Колебания бесконечной пластины, контактирующей с акустической средой, при сосредоточенных воздействиях.	Решение задач о вынужденных колебаниях бесконечной пластины под линейно- и точечно-сосредоточенными нагрузками без контакта со средой методом выделения главной особенности и методом интегральных преобразований.	4
4	Колебания и звукоизлучение ограниченных пластин под сосредоточенными нагрузками.	Решения задач о вынужденных колебаниях пластины-полосы под линейно-сосредоточенной нагрузкой и круглой пластины под точечной силой: метод выделения главной особенности, метод разложения по собственным формам колебаний, метод плоских волн.	4
5	Колебания оболочек в контакте с акустической средой. Коэффициенты	Определение коэффициентов присоединённых масс среды для быстро- и медленноменяющихся компонентов НДС оболочки. Применение метода ВКБ для	4

	присоединённых масс. Переходные поверхности.	асимптотического решения задачи о колебаниях оболочки с пристеночным слоем жидкости. Определение координат переходных поверхностей в акустической среде и переходных линий для сферической, цилиндрической и эллипсоидальной оболочек при наружном и внутреннем контактах с акустической средой.	
6	Основные методы виброзащиты конструкций.	Изоляция основания от виброактивной массы. Изоляция приборов и оборудования от виброактивного основания. Определение коэффициента виброизоляции при наличии диссипативных сил. Расчёт коэффициента виброизоляции на стандартных препятствиях: шарнирном соединении, свободной упругой опоре, плавающей заделке.	4
7	Звукоизоляция локальных источников плоскими экранами и замкнутыми оболочками. Звукопоглощающие покрытия.	Расчёт акустического поля локальных источников в цилиндрической и сферической областях с жёсткими и упругими стенками. Расчёт и сравнение коэффициентов звукоизоляции упругой оболочки с внутренним, либо наружным звукоизолирующим покрытием. Определение коэффициентов прохождения и отражения волны, падающей на плоский упругий экран. Определение коэффициента звукоизоляции для упругой пластины-полосы. Решение задачи об активной компенсации звукового поля за экраном.	4
		Итого	28

4.2.3 Самостоятельная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Виды самостоятельной работы	Кол-во акад. часов
1	Постановка основных задач и некоторые методы их решения.	Изучение рекомендованной литературы, особенно вводных частей, для углубления понимания проблематики предмета. Поиск аналогичных математических постановок задач и методов их решения в ранее изучавшихся и смежных дисциплинах. Проработка вопросов о сходстве и различиях постановках задач акустоупругости на простейших формах граничных поверхностей: плоской, цилиндрической, сферической; формулировки условий звукоизлучения для внешних - и условий ограниченности решений для внутренних задач.	4
		Подготовка к зачёту.	2
2	Изгибные волны в бесконечной упругой пластине и поверхностные волны в акустической среде.	Изучение рекомендованной литературы. Построение решений задач о плоских бегущих изгибных волнах для пластины в двухстороннем контакте с разнородными акустическими средами. Выполнение РГР.	16
		Подготовка к зачёту.	2
3	Колебания бесконечной пластины, контактирующей с акустической средой, при сосредоточенных воздействиях.	Изучение рекомендованной литературы. Выполнение асимптотических процедур определения присоединённых масс жидких и газовых сред через корни дисперсионных уравнений для изгибных волн и локализованных краевых эффектов на границе пластины и акустических сред в случаях лёгких (газовые среды),	20

		тяжёлых (жидкости) и комбинированных сред, нахождение на их основе частных решений и приближенных аналитических решений в окрестности мест приложения нагрузки при двустороннем контакте пластины с акустической средой. Выполнение РГР. Подготовка к устному опросу.	
		Подготовка к зачёту.	2
4	Колебания и звукоизлучение ограниченных пластин под сосредоточенными нагрузками.	Изучение рекомендованной литературы. Проработка методов решения задачи о вынужденных колебаниях ограниченных пластин в контакте с акустической средой: метода граничных интегро-дифференциальных уравнений и метода разложения по собственным формам колебаний пластины в вакууме. Выполнение РГР.	20
		Подготовка к зачёту.	3
5	Колебания оболочек в контакте с акустической средой. Коэффициенты присоединённых масс. Переходные поверхности.	Обзор литературы по колебаниям и звукоизлучению оболочек, находящихся в контакте с акустической средой. Определение переходных линий и переходных поверхностей в математике, оптике и акустике.	20
		Подготовка к зачёту.	3
6	Основные методы виброзащиты конструкций.	Обзор литературы по методам виброзащиты конструкций. Области применимости, преимущества и недостатки основных методов виброзащиты. Ознакомление с методикой расчёта и расчёт коэффициентов прохождения и отражения изгибных волн на препятствиях типа «шарнирное соединение», «шарнирная опора», «подвижное защемление» при конкретных параметрах балочного волновода.	20
		Подготовка к зачёту.	3
7	Звукоизоляция локальных источников плоскими экранами и замкнутыми оболочками. Звукопоглощающие покрытия.	Ознакомление с методикой расчёта эффективности звукопоглощающих покрытий. Определение сравнительных значений коэффициентов звукоизоляции одно- и многослойного экранов одинаковой толщины при наличии в многослойном экране воздушных зазоров. Подготовка к контрольной работе.	20
		Подготовка к зачёту.	3
		Итого	138

5. Образовательные технологии

В учебном процессе по виброакустике тонкостенных конструкций используются современные технологии обучения, основу которых составляют информационные технологии, технологии привлечения обучающихся к научному процессу в экспериментальной лаборатории ИПМех РАН, к выполнению работ по договорам и проектам лаборатории.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, справочной системы сети Интернет. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающем учебники, учебно-методические пособия и методические указания по выполнению практических занятий и самостоятельной работы.

Форма контроля знаний:

- опрос обучающихся в процессе практических занятий;
- расчетно-графическая работа (РГР);
- зачет с оценкой по билетам в конце курса по вопросам, включенным также в программу кандидатского минимума по специальности 01.06.01 «Математика и механика».

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Попов А.Л. Виброакустика тонкостенных конструкций [Текст]: учебное пособие / А.Л. Попов; М.: Изд. МГСУ, 2014. – 72 с.
2. Попов А.Л. Методические указания по выполнению практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Современные проблемы прикладной механики. Виброакустика тонкостенных конструкций». - М.: Изд. МГСУ, 2019. – 34 с.
3. Попов А.Л., Чернышев Г.Н. Механика звукоизлучения пластин и оболочек. - М.: Физматлит, 1994. - 208 с.
4. Шмаков В.П. Избранные труды по гидроупругости и динамике упругих конструкций. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. – 287 с.
5. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. - Л.: Судостроение. 1972. -348 с.

б) справочная литература:

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. Справочник. Т.3. - М.: Машиностроение. 1968. - 567 с.

2. Вибрации в технике. Справочник. Т.1. - М.: Машиностроение. 1978. - 352 с.

3. Гонткевич В.С. Собственные колебания оболочек в жидкости. - Киев: Наукова думка. 1964 . 102 с.

в) дополнительная литература:

1. Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука. - Л.: Судостроение. 1989. - 304 с.

2. Скучик Е. Основы акустики. - М.: Мир. 1976. Т.2. - 542 с.

3. Гольденвейзер А.Л., Лидский В.Б., Товстик П.Е. Свободные колебания тонких упругих оболочек. – М.: Наука. 1979. - 384 с.

г) Интернет – ресурсы (ИР):

Наименование ИР	Электронный адрес ресурса
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru/defaultx.asp?
Электронная библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Библиотека по естественным наукам РАН	http://www.benran.ru

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование оборудования	№ и наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий
1	2	3	4
1	Лекции	Стационарные / мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования	Аудитории / аудитория для проведения занятий лекционного типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда ИПМех РАН
2	Практические занятия	Мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования	Аудитории / аудитория для проведения занятий семинарского типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда ИПМех РАН
3	Самостоятельная работа	Фонд библиотеки ИПМех РАН	Помещение библиотеки ИПМех РАН

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральные государственные требования к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура). Утверждены приказом Министерства образования и науки Российской Федерации N2 1365 от 16.03.2011.

2. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки. Приложение №1.2 к лицензии на осуществление образовательной деятельности в ИПМех РАН от «05» апреля 2012 г. № 2703.

Автор: ведущий научный сотрудник ИПМех РАН доктор физико-математических наук, профессор А.Л. Попов

Программа принята на заседании Ученого совета ИПМех РАН, протокол ____ от _____.