

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

« 30 » Июль 2020 г.

Регистрационный № УД 8355 /уч.



ТЕОРИЯ ОБОЛОЧЕК И ПЛАСТИН

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 80 04 Механика и математическое моделирование

профилизация Теоретическая и прикладная механика

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2019 и учебного плана № G31-019/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Михасев Геннадий Иванович – заведующий кафедрой био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

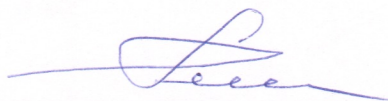
Вихренко Вячеслав Степанович - доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
(протокол № 13 от 16.06.2020)

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 17.06.2020)

Зав.кафедрой _____



Михасев Г.И.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины является изучение теории оболочек и пластин и методов исследования их напряженно-деформированного состояния, собственных колебаний и устойчивости.

Задачами дисциплины «Теория оболочек и пластин» являются:

- ✓ Формирование у студентов основных понятий теории оболочек и пластин и ее использования при расчете тонкостенных конструкций;
- ✓ Формирование у студентов навыков постановки краевых задач, возникающих при расчете тонких оболочек, и методов их решения;
- ✓ Использование асимптотических методов при решении различных краевых задач в теории тонких оболочек.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю "Специальные разделы механики сплошных сред"-2 компонента учреждения высшего образования.

Связь с другими дисциплинами.

Программа дисциплины «Теория оболочек и пластин» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Дифференциальные уравнения», «Механика сплошных сред», «Уравнения математической физики».

Требования к компетенциям

Преподавание данной дисциплины должно строиться таким образом, чтобы обучающийся приобрел следующую специализированную компетенцию:

СК-3 Быть способным применять методы теории оболочек и пластин при проектировании и прочностных расчетах конструкций сооружений.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основные понятия теории тонких пластин и оболочек;
- основные методы решения краевых задач, возникающих в теории тонких оболочек,
- методы решения краевых задач в теории тонких оболочек с использованием асимптотических методов,

уметь:

- использовать аналитические, асимптотические и численные методы для решения сингулярно возмущенных систем дифференциальных уравнений с малым параметром в теории тонких оболочек;
- использовать асимптотический ВКБ-метод при решении уравнений в частных производных с малым параметром при старшей производной, описывающих различные задачи в теории тонких оболочек;

– использовать метод многих масштабов при решении дифференциальных уравнений с малым параметром, описывающих локализованную параметрическую неустойчивость тонких оболочек;

– использовать комплексный ВКБ-метод, для построения локализованных решений в различных задачах об устойчивости и колебаниях тонких пластин и оболочек.

владеть:

– навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач в теории тонких оболочек.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина «Теория оболочек и пластин» изучается магистрантами в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Теория оболочек и пластин» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 198 часов, в том числе 72 аудиторных часа, из них: лекции – 36 часов, лабораторных занятий – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Уравнения теории тонких пластин и оболочек

Тема 1.1. Введение. Уравнения движения тонких упругих изотропных оболочек. Граничные условия.

Тема 1.2. Уравнения безмоментной теории тонких упругих оболочек. Уравнения пластин.

Тема 1.3. Уравнения устойчивости тонких упругих оболочек. Уравнения технической теории тонких оболочек.

Тема 1.4. Уравнения колебаний и устойчивости предварительно напряженной цилиндрической оболочки.

Тема 1.5. Уравнения простого краевого эффекта. Обобщенный краевой эффект.

Раздел 2. Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек

Тема 2.1. Безмоментное напряженно-деформированное состояние тонких упругих оболочек. Граничные условия.

Тема 2.2. Мембранные усилия в оболочках нулевой гауссовой кривизны при «ветровой нагрузке».

Тема 2.3. Напряженно-деформированное состояние оболочек положительной гауссовой кривизны.

Раздел 3. Асимптотические методы в теории тонких оболочек

Тема 3.1. Асимптотические последовательности и ряды. Теорема Пуанкаре.

Тема 3.2. Регулярно-возмущенные и сингулярно-возмущенные дифференциальные уравнения. Метод прямого разложения.

Тема 3.3. Метод ВКБ в исследовании высокочастотных колебаний балок и пластин.

Раздел 4. Простейшие задачи о колебаниях и устойчивости пластин и оболочек.

Тема 4.1. Свободные колебания тонких пластин с постоянными характеристиками.

Тема 4.2. Свободные колебания цилиндрических оболочек средней длины.

Тема 4.3. Устойчивость тонких пластин.

Тема 4.4. Устойчивость тонких цилиндрических оболочек средней длины.

Раздел 5. Локализованные формы колебаний и устойчивости тонких оболочек и пластин.

Тема 5.1. Локализованные изгибные и плоскостные колебания пластин со свободным краем.

Тема 5.2. Локализованные колебания круглых пластин со свободным краем. Точки поворота. Построение форм собственных колебаний с использованием функций Эйри.

Тема 5.3. Асимптотический комплексный ВКБ-метод построения локализованных форм колебаний и устойчивости тонкостенных элементов.

Тема 5.4. Свободные локализованные колебания сжатой/растянутой осевыми силами неоднородной балки.

Тема 5.5. Свободные локализованные колебания и устойчивость цилиндрических оболочек вблизи «слабой» образующей.

Раздел 6. Локализованные волны в тонких оболочках.

Тема 6.1. Изгибные волны, бегущие в цилиндрических оболочках в окружном направлении.

Тема 6.2. Волновые пакеты в цилиндрических оболочках бегущие в окружном направлении. Нестационарный комплексный ВКБ-метод исследований бегущих волновых пакетов.

Тема 6.3. Дисперсионное уравнение, система Гамильтона, уравнения Риккати и амплитудное уравнение, определяющие динамику волновых пакетов в тонких оболочках.

Раздел 7. Тонкие слоистые цилиндрические оболочки

Тема 7.1. Уравнения тонких слоистых оболочек, основанные на обобщенных кинематических гипотезах Тимошенко. Граничные условия.

Тема 7.2. Свободные колебания слоистых пластин и цилиндрических оболочек.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Количество часов по УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное			
1		3	4	5	6	7	8	9	
1	Уравнения теории тонких пластин и оболочек	8							
1.1	Введение. Уравнения движения тонких упругих изотропных оболочек. Граничные условия.	3							Опрос
1.2	Уравнения безмоментной теории тонких упругих оболочек. Уравнения пластин.	1							Опрос
1.3	Уравнения устойчивости тонких упругих оболочек. Уравнения технической теории тонких оболочек.	2							Опрос
1.4	Уравнения колебаний и устойчивости предварительно напряженной цилиндрической оболочке.	1							Опрос
1.5	Уравнения простого краевого эффекта. Обобщенный краевой эффект.	1							Опрос
2	Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек	4			8				
2.1	Безмоментное напряженно-деформированное состояние тонких упругих оболочек. Граничные условия.	1							Собеседование
2.2	Мембранные усилия в оболочках нулевой гауссовой	2							Отчет по лабораторным

	кривизны при «ветровой нагрузке».								работам с их устной защитой
2.3	Напряженно-деформированное состояние оболочек положительной гауссовой кривизны.	1				2			Собеседование
3	Асимптотические методы в теории тонких оболочек	4				4			
3.1	Асимптотические последовательности и ряды. Теорема Пуанкаре.	2							Опрос
3.2	Регулярно-возмущенные и сингулярно-возмущенные дифференциальные уравнения в теории тонких оболочек. Метод прямого разложения.	2							Опрос
3.3	Метод ВКБ в исследовании высокочастотных колебаний балок и пластин.					4			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
4	Простейшие задачи о колебаниях и устойчивости пластин и оболочек.	6				8			
4.1	Свободные колебания тонких пластин с постоянными характеристиками.	1				2			Собеседование
4.2	Свободные колебания цилиндрических оболочек средней длины	2				2			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
4.3	Устойчивость тонких пластин.	1				2			Собеседование
4.4	Устойчивость тонких цилиндрических оболочек средней длины.	2				2			Отчет по лабораторной работе с ее устной защитой
5	Локализованные формы колебаний и устойчивости тонких оболочек и пластин.	6				6			
5.1	Локализованные изгибные и плоскостные колебания	1				2			Собеседование

	пластин со свободным краем.																		Опрос
5.2	Локализованные колебания круглых пластин со свободным краем. Точки поворота. Построение форм собственных колебаний с использованием функций Эйри.	1																	Опрос
5.3	Асимптотический комплексный ВКБ-метод построения локализованных форм колебаний и устойчивости тонкостенных элементов.	1																	Опрос
5.4	Свободные локализованные колебания сжатой/растянутой осевыми силами неоднородной балки.	1																	Опрос
5.5	Свободные локализованные колебания и устойчивость цилиндрических оболочек вблизи «слабой» образующей.	2								4									Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
6	Локализованные волны в тонких цилиндрических оболочках.	6								6									
6.1	Изгибные волны, бегущие в цилиндрических оболочках в окружном направлении	2																	Опрос
6.2	Волновые пакеты в цилиндрических оболочках бегущие в окружном направлении. Нестационарный комплексный ВКБ-метод исследований бегущих волновых пакетов.	2																	Собеседование
6.3	Дисперсионное уравнение, система Гамильтона, уравнения Риккати и амплитудное уравнение, определяющие динамику волновых пакетов в тонких оболочках.	2								4									Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
7	Тонкие слоистые цилиндрические оболочки	2								4									
7.1	Уравнения тонких слоистых оболочек, основанные на	1																	Собеседование

С.С.

	обобщенных кинематических гипотезах Тимошенко. Граничные условия.												
7.2	Свободные колебания слоистых пластин и цилиндрических оболочек.	1											Опрос
	Всего по курсу	36								36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. -431с.
2. Найфэ А. Введение в методы возмущений. – М.: Мир, 1984. -535с
3. Товстик П.Е. Устойчивость оболочек: Асимптотические методы– М.: Наука. Физматлит, 1995.
4. Михасев Г.И., Товстик П.Е. Локализованные колебания и волны в тонких оболочках. Асимптотические методы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. -292с.

Дополнительная литература

5. Гольденвейзер А.Л., Лидский В.Б., Товстик П.Е. Свободные колебания тонких упругих оболочек– М.: Наука, 1979.
6. Mikhasev G.I., Altenbach H. Thin-walled Laminated Structures: Buckling, Vibrations and their Suppression. - Cham, Switzerland: Springer. -2019- 280p.
7. Mikhasev G.I., Tovstik P.E. Localized Dynamics of Thin-Walled Shells. – New York: CRC Press -2020. -366p.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Теория оболочек и пластин» проводится, как правило, во время устного собеседования, в том числе по результатам лабораторных занятий. Для диагностики используются:

- устные собеседования;
- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Теория оболочек и пластин» учебным планом предусмотрен экзамен.

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой оценки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования;
- 2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете № 189-ОД от 31.03.2020
- 3) Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.

Формирование оценки за *текущую успеваемость* осуществляется в соответствии со следующими весовыми коэффициентами:

- ответы при опросах на лекциях и собеседованиях на лабораторных занятиях – 40 %;
- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – 60 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки *текущей успеваемости* и *экзаменационной оценки* с учетом их весовых коэффициентов. Весовая оценка по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Лабораторная работа по Разделу 2 «Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек»:

Задание № 1. Рассчитать мембранные усилия в цилиндрической оболочке при действии ветровой нормальной нагрузки типа $q_n = q_0 + q_1 + \cos \varphi$.

Лабораторная работа по Разделу 3 «Асимптотические методы в теории тонких оболочек»:

Задание № 2. Методом ВКБ исследовать высокочастотные колебания балки Бернулли с переменным сечением, площадь которого меняется по линейному закону $S(x) = S_0 + S_1 x$.

Лабораторная работа по Разделу 4 «Простейшие задачи о колебаниях и устойчивости пластин и оболочек»:

Задание № 3. Вывести формулу для собственной частоты колебаний тонкой цилиндрической оболочки средней длины при шарнирном опирании краев и исследовать ее на минимум как функцию числа волн в окружном направлении.

Задание № 4. Найти критическое внешнее давление при котором тонкая цилиндрическая оболочка с шарнирно опертыми краями теряет устойчивость.

Лабораторная работа по Разделу 5 «Локализованные формы колебаний и устойчивости тонких оболочек и пластин»:

Задание № 5. Используя комплексный ВКБ-метод, найти наименьшую частоту колебаний:

- а) некруговой цилиндрической оболочки;
- б) круговой цилиндрической оболочки с косым краем.

Задание № 6. Используя комплексный ВКБ-метод, найти критическое давление

- а) некруговой цилиндрической оболочки,
- б) круговой цилиндрической оболочки с косым краем, приводящее к потере устойчивости.

Лабораторная работа по Разделу 6 «Локализованные волны в тонких цилиндрических оболочках»

Задание № 7. Найти решение системы Гамильтона, описывающей динамику центра волнового пакета, бегущего в окружном направлении в некруговой цилиндрической оболочке.

Задание № 8. Найти решение уравнения Риккати, определяющего ширину волнового пакета, бегущего в окружном направлении в некруговой цилиндрической оболочке.

ОПИСАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ К ПРЕПОДАВАНИЮ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

При организации образовательного процесса используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной решаемой задаче (проблеме).

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания теории тонких оболочек и их применение в инженерной практике при решении конкретных задач проектирования тонкостенных конструкций.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Тема 7. Тонкие слоистые цилиндрические оболочки - 4 часа.

Задания:

1. Получить коэффициенты в дифференциальном уравнении, описывающем движение трехслойной цилиндрической оболочки.
2. Исследовать свободные колебания трехслойной цилиндрической оболочки с шарнирно опертыми краями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Задания самостоятельной работы по учебной дисциплине «Теория оболочек и пластин» состоят из 2-х модулей и предназначены для самостоятельного изучения двух тем из Раздела 7 «Тонкие слоистые цилиндрические оболочки».

Модуль 1 «Свободные колебания слоистых пластин» формирует достаточные знания по теории тонких слоистых пластин, основанных на единых кинематических гипотез для всего слоистого пакета. Для изучения данного метода следует использовать Гл. 2 из [6] (стр. 49-60), а также Гл. 4 из [6] (стр. 173-180). Студент должен самостоятельно получить формулы (4.40) из [6] для собственных частот колебаний слоистой пластины.

Модуль 2 «Свободные колебания слоистых цилиндрических оболочек» формирует компетенции на уровне применения теории слоистых оболочек для расчета их собственных частот свободных колебаний. Для его изучения рекомендуется использовать источник [6] (стр. 49-60). Студент должен уметь использовать теорию, изложенную на страницах 49-60 из книги [6] и получить формулу (4.93) для собственной частоты свободно опертой круговой слоистой цилиндрической оболочки.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Деформационные соотношения
2. Уравнения движения тонких оболочек в усилиях
3. Уравнения физического состояния
4. Граничные условия
5. Уравнения движения в перемещениях
6. Безмоментные уравнения движения (техническая теория оболочек)
7. Уравнения движения предварительно напряженной оболочки
8. Уравнения устойчивости тонких оболочек
9. Уравнения движения балок и пластин
10. Собственные поперечные колебания балки
11. Локализованные изгибные формы колебаний пластины со свободным прямолинейным краем
12. Локализованные плоскостные формы колебаний пластины со свободным прямолинейным краем
13. Свободные колебания прямоугольной пластины с шарнирно опертыми краями
14. Свободные колебания круговой цилиндрической оболочки при шарнирном опирании краев.
15. Собственные колебания предварительно напряженной цилиндрической оболочки
16. Локализованные колебания некруговой цилиндрической оболочки средней длины. Анзатц.
17. Устойчивость шарнирно опертой круговой цилиндрической оболочки при равномерном гидростатическом давлении
18. Локализованные колебания неоднородной предварительно сжатой балки, лежащей на неоднородном упругом основании.
19. Волновые пакеты в цилиндрических оболочках. Анзатц.
20. Волновые пакеты в цилиндрических оболочках. Система Гамильтона. Уравнение Риккати.
21. Обобщенные кинематические гипотезы Тимошенко в теории слоистых оболочек
22. Уравнения технической теории слоистых оболочек Григолюка-Куликова
23. Уравнения технической теории слоистых оболочек Товстика.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Современная экспериментальная механика	Био- и нано механики, Теоретической и прикладной механики	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется (протокол № 13 от 16.06.2020)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 2020 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор _____
(степень, звание) (подпись)

Г.И. Михасев _____
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Д. пед. н., доцент _____
(степень, звание) (подпись)

С.М Босяков _____
(И.О.Фамилия)