

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



5 июля 2024 г.
Регистрационный № УД-13690/уч.

ТЕОРИЯ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Для студентов Совместного института БГУ и ДПУ

2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 03 02-2021, учебного плана БГУ: №G31-1-029/уч.-СИБД от 30.06.2021, №G31-1-209/уч.-СИБД от 23.03.2022.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Мармыш Денис Евгеньевич – доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

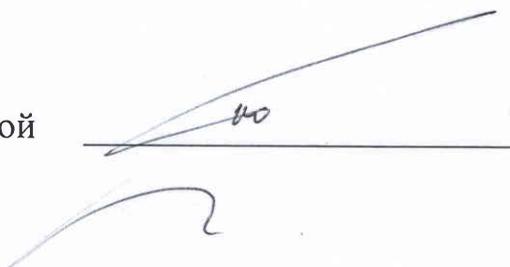
Желткович Андрей Евгеньевич – доцент кафедры «Прикладная механика» машиностроительного факультета Брестского государственного технического университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета БГУ
(протокол № 13 от 25.06.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящая программа по учебной дисциплине разработана и утверждена для студентов Совместного института Белорусского государственного университета и Даляньского политехнического университета обучающихся по специальности 1-31 03 02 «Механика и математическое моделирование».

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Теория пластин и оболочек» является изучении теории оболочек и пластин и методов исследования их напряженно-деформированного состояния, собственных колебаний и устойчивости.

Задачи учебной дисциплины:

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

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Прикладная механика» компонента учреждения высшего образования.

Как прикладная дисциплина «Теория пластин и оболочек» является приложением таких дисциплин как «Сопrotивление материалов и основы строительной механики», «Теория упругости». Она также служит средством формирования у будущих специалистов необходимых творческих навыков к построению математических моделей происходящих в природе и технике процессов, а также помогает совершенствованию способностей к научным обобщениям и выводам.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Теория пластин и оболочек» студент должно обеспечить формирование следующих компетенций:

универсальные компетенции:

УК. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

УК. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

УК. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

УК. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

УК. Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности.

базовые профессиональные компетенции:

БПК. Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

БПК. Применять современные технологии и базовые конструкции языков программирования для реализации алгоритмических прикладных задач;

БПК. Использовать основные аналитические и численные методы теоретической механики, механики сплошных сред, сопротивления материалов к исследованию механических процессов;

БПК. Применять теоретические знания и навыки в самостоятельной исследовательской деятельности;

специализированные компетенции:

СК. Проводить сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных.

В результате изучения дисциплины «Теория пластин и оболочек» обучающийся 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.

иметь навык:

- ориентирования в классификации пластин в соответствии с их геометрией и характером деформирования;
- из общих уравнений теории упругости получать основные соотношения, определяющие компоненты тензоров напряжений и деформаций;
- использования аналитических, асимптотических и численных методов для решения систем дифференциальных уравнений в теории тонких оболочек;
- применения полученных знаний к решению прикладных задач исследования напряженно-деформированного состояния и нахождения прогибов тонких пластин и оболочек.

Структура учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Теория пластин и оболочек» изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины отведено для очной формы получения высшего образования: 90 часов, в том числе 34 аудиторных часа, лекции – 18 часов, практические занятия – 16 часов. Из них:

Лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 12 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема I. Основные уравнения теории пластин и оболочек

Основные понятия. Гипотезы Киркгофа-Лява. Вывод формул для перемещений, напряжений и деформаций. Понятие изгибающего момента, поперечной и сдвигающей силы, связь с напряжениями. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластины. Формулировка граничных условий. Основные уравнения изгиба круглой пластины. Уравнения напряженно-деформированного состояния тонких упругих изотропных оболочек. Уравнения безмоментной теории тонких упругих оболочек.

Тема II. Аналитические решения задач изгиба пластин

Прямоугольная пластина, решение Навье, решение Леви. Расчет прямоугольной пластины и бесконечной полосы на упругом основании. Цилиндрических изгиб прямоугольной пластины. Осесимметричный изгиб круглой пластины. Изгиб эллиптической пластины, жестко заземленной по контуру.

Тема III. Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек

Безмоментное напряженно-деформированное состояние тонких упругих оболочек. Граничные условия. Мембранные усилия в оболочках нулевой гауссовой кривизны при «ветровой нагрузке». Напряженно-деформированное состояние оболочек положительной гауссовой кривизны.

Тема IV. Решение задач изгиба пластин и деформации оболочек в программном комплексе Mathematica

Написание программ для решения рассмотренных задач теории пластин и оболочек в программном комплексе Mathematica. Сравнение полученных результатов с аналитическими решениями и анализ напряженно-деформированного состояния изучаемых объектов.

Тема V. Решение задач теории тонких пластин и оболочек в программном комплексе ANSYS Workbench

Решение рассмотренных задач теории тонких пластин и оболочек в программном комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS Workbench. Сравнение полученных результатов и анализ напряженно-деформированного состояния изучаемых объектов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Основные уравнения теории пластин и оболочек	2						Вопросы для самопроверки, устный опрос	
2	Аналитические решения задач изгиба пластин	6			2			Вопросы для самопроверки, устный опрос	
3	Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек	6			2			Вопросы для самопроверки, устный опрос	
4	Решение задач изгиба пластин и деформации оболочек в программном комплексе Mathematica	2			4		2	Вопросы для самопроверки, устный опрос, отчет по индивидуальному заданию	
5	Решение задач теории тонких пластин и оболочек в программном комплексе ANSYS Workbench	2			4		2	Вопросы для самопроверки, устный опрос, отчет по индивидуальному заданию	
	Всего	18			12		4		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Босяков, С. М. Сопротивление материалов и основы строительной механики [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 7-06-0533-06 «Механика и математическое моделирование» / С. М. Босяков ; БГУ, Механико-математический фак., Каф. био- и наномеханики. - Минск : БГУ, 2023. - URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/309960>.
2. Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках = Deformation of Three-Layer Plates under Thermo Force Loads / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Шафиева, А. Г. Козел, А. В. Нестерович ; М-во транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, УО "Белорусский гос. ун-т транспорта". - Гомель : БелГУТ, 2024. - 395 с.
3. Вербицкая, О. Л. Сопротивление материалов и теория упругости: применение метода конечных элементов при расчете прямоугольных пластин : учебно-методическое пособие для студентов / О. Л. Вербицкая, Л. И. Шевчук ; М-во образования Республики Беларусь, БНТУ, Кафедра "Математические методы в строительстве". - Минск : БНТУ, 2021. - 52 с.
4. Лосик, С. А. Техническая механика. Практикум : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям : в 3 ч. / С. А. Лосик, О. О. Смиловенко, Т. М. Мартыненко. - Минск : РИВШ, 2022. - Ч. 2 : Сопротивление материалов. - 2024. - 279 с.

Дополнительная литература

1. Доннел О. Пластины, балки, оболочки / О. Доннел, под. ред. Э.И. Григолюка. – М.: Мир 1982. – 568 с.
2. Кончковский З. Плиты. Статические расчеты / З. Кончковский, под ред. А.И. Цейтлина. – М.: Стройиздат, 1984. – 480 с.
3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Гос изд. физ.-мат. лит., 1963. – 635 с.
4. Altenbach H, Eremeyev V. Shell-like structures: advanced theory and applications. – Springer, 2017. – 288 p.
5. Mikhasev G.I., Altenbach H. Thin-walled Laminated Structures: Buckling, Vibrations and their Suspension. – Cham, Switzerland: Springer. – 2019. – 280 p.
6. Mikhasev G.I., Tovstik P.E. Localized Dynamics of Thin-Walled Shells. – New York: CRC Press. – 2020. – 366 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Теория пластин и оболочек» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- вопросы для самопроверки;
- устный опрос;
- отчет по индивидуальному заданию.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и практических занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

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

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Теория пластин и оболочек» учебным планом предусмотрен **зачет**.

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

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 4. Решение задач изгиба пластин и деформации оболочек в программном комплексе Mathematica. (2 ч.)

Рассмотреть изгиб прямоугольной пластины под действием заданной системы нагрузок и граничных условий. Сформулировать постановку задачи. Решить математическую модель изгиба пластины с демонстрацией характерных графических результатов с использованием программного комплекса Mathematica.

Составить отчет по выполнению индивидуального задания.
(Форма контроля – отчет по индивидуальному заданию).

Тема 5. Решение задач теории тонких пластин и оболочек в программном комплексе ANSYS Workbench. (2 ч.)

Рассмотреть деформацию тонкой сферической оболочки под действием заданной системы внешних нагрузок и граничных условий. Сформулировать постановку задачи. Создать геометрическую модель с использованием ANSYS Workbench. В ANSYS Mechanical решить методом конечных элементов задачу деформации оболочки. Вывести характерных картины распределения полей деформаций.

Составить отчет по выполнению индивидуального задания.
(Форма контроля – отчет по индивидуальному заданию).

Примерная тематика лабораторных заданий

Лабораторное занятие 1. Тема 2. Аналитические решения задач изгиба пластин (2 ч.)

Рассмотреть и сформулировать механико-математическую модель для изгиба прямоугольной пластины при заданных граничных условиях. Получить аналитическое решение механико-математической модели и представить решение в виде графиков с вариацией входных параметров, таких как геометрические размеры пластины, упругие свойства материала.

Лабораторное занятие 2. Тема 3. Расчет напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек (2 ч.)

Рассчитать мембранные усилия в цилиндрической оболочке при действии ветровой нормальной нагрузки типа $q_n = q_0 + q_1 + \cos \varphi$.

Лабораторное занятие 3. Тема 4. Решение задач изгиба пластин и деформации оболочек в программном комплексе Mathematica (4 ч.)

1. Написание программ в пакете Mathematica для прямоугольной пластины (решение Навье, решение Леви).

2. Написание программ в пакете Mathematica для расчета прямоугольной пластины и бесконечной полосы на упругом основании и цилиндрического изгиба прямоугольной пластины.

3. Написание программ в пакете Mathematica для задачи осесимметричного изгиба круглой пластины и изгиба эллиптической пластины, жестко защемленной по контуру.

Лабораторное занятие 4. Тема 5. Решение задач теории тонких пластин и оболочек в программном комплексе ANSYS Workbench (4 ч.)

1. Решение в программном комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS Workbench для прямоугольной пластины (решение Навье, решение Леви).

2. Решение в программном комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS Workbench для прямоугольной пластины и бесконечной полосы на упругом основании и цилиндрического изгиба прямоугольной пластины.

3. Решение в программном комплексе конечно-элементного моделирования ANSYS Workbench для задачи осесимметричного изгиба круглой пластины и изгиба эллиптической пластины, жестко защемленной по контуру.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

1. Самостоятельная работа в процессе работы с литературой.

Просмотрите конспект сразу после занятий. Поставьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания.

Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу.

Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

2. Самостоятельная работа по составлению конспекта.

1. Соберите литературу по теме. Изучите тот источник, где она изложена наиболее полно и на современном уровне.

2. По этому источнику составьте подробный план с указанием страниц книги, относящихся к определенному пункту плана.

3. Изучите другие источники. Если в них встречается материал по уже имеющемуся пункту плана, запишите в плане и новый источник с указанием страниц. Если же в другом источнике материал раскрывает тему с другой стороны, добавьте еще пункт плана.

4. Проанализировав всю литературу, собранную по теме, вы получите окончательный план, по которому можно писать конспект, объединяя по пунктам материал из разных источников.

5. Отредактируйте составленный вами конспект, внимательно прочтите его и подумайте: - удовлетворяет ли вас его общий план; - хорошо ли воспринимается смысловая, логическая связь между отдельными элементами содержания.

3. Подготовка к лабораторным занятиям

Назначение лабораторных занятий - углубление и проработка теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы студентов на протяжении всего курса. Непосредственное проведение лабораторного занятия предполагает: решение задач и упражнений по образцу; проведение анализа результатов; систематизацию материала и подготовка отчета о проведенной работе.

Инструкция:

Изучите нормативные документы, обязательную и дополнительную литературу по рассматриваемому вопросу.

прочтите конспект лекции по теме.

Внимательно изучите порядок выполнения индивидуальной практической работы или алгоритм, представленный преподавателем.

4. Подготовка к зачету

Внимательно прочитайте материал по конспекту, составленному на учебном занятии.

Прочитайте тот же материал по учебнику, учебному пособию.

Постарайтесь разобраться с непонятными, в частности новыми терминами. Часто незнание терминологии мешает студентам воспринимать материал на занятиях на должном уровне.

Ответьте на контрольные вопросы для самопроверки, имеющиеся в учебнике.

Кратко перескажите содержание изученного материала «своими словами».

Заучите «рабочие определения» основных понятий, законов.

Освоив теоретический материал, приступайте к выполнению заданий, упражнений; решению задач, расчетов по индивидуальным заданиям и т.д.

Примерный перечень вопросов к зачету

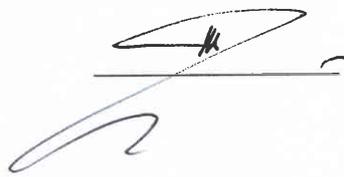
1. Классификация пластин.
2. Деформационные соотношения.
3. Уравнения физического состояния.
4. Граничные условия.
5. Внутренние усилия и моменты.
6. Уравнения состояния тонких оболочек в усилиях.
7. Уравнения состояния в перемещениях.
8. Безмоментные уравнения движения (техническая теория оболочек).
9. Гипотеза Кирхгофа-Лява.
10. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластины.
11. Уравнение Софи Жермен.
12. Основные уравнения изгиба круглой пластины.
13. Бесконечная балка на однопараметрическом упругом основании.
14. Плиты на упругом основании.
15. Цилиндрический изгиб прямоугольной пластины.
16. Осесимметричный изгиб круглой пластины.
17. Решение Навье для прямоугольной пластины.
18. Решение Леви для прямоугольной пластины.
19. Уравнения движения балок и пластин.
20. Решение об изгибе прямоугольной пластины в терминах рядов Фурье.

21. Слабый изгиб пластины с учетом растяжения, сжатия и сдвига в срединном слое.
22. Функции усилий.
23. Основные соотношения для больших прогибов пластины.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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)
Компьютерное моделирование	Кафедра теоретической и прикладной механики	Изменений не требуется	Протокол № 13 от 25.06.2024

Заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики
д-р физ.-мат. наук, профессор



М.А. Журавков

25.06.2024 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(И.О.Фамилия)