

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Механико-математический факультет



**Рабочая программа дисциплины**  
**НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК**

Направление подготовки магистратуры  
01.04.03 Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки магистратуры  
Механика деформируемого твердого тела

Квалификация (степень) выпускника  
Магистр

Форма обучения  
Очная

Саратов,  
2024

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Вильде М.В.	<i>М.В. Вильде</i>	10.10.2024
Председатель НМК	Тышкевич С.В.	<i>С.В. Тышкевич</i>	10.10.2024
Заведующий кафедрой	Коссович Л.Ю.	<i>Л.Ю. Коссович</i>	10.10.2024
Специалист Учебного управления			

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек» являются приобретение базовых знаний в области геометрически нелинейной теории тонкостенных оболочек, без которых невозможно изучение важных, с точки зрения практических приложений, разделов механики взаимодействия жидких и газообразных сред с упругими тонкостенными телами, знакомство с методами решения некоторых практически важных классов задач данной теории.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры**

Дисциплина «Нелинейная теория упругих оболочек» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к дисциплинам по выбору ООП магистратуры по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование» и профилю подготовки «Механика деформируемого твердого тела». На ее изучение отводится 108 часов (32 часа аудиторной работы, из них 16 часов практическая подготовка, 2 часа КСР, 38 часов СРС, 36 часов – контроль). В соответствии с учебным планом, занятия проводятся во втором семестре. Согласно учебному плану направления и профиля подготовки данный курс во втором семестре заканчивается экзаменом.

Для освоения дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек» необходимы умения и навыки, приобретенные в базовых курсах на этапе освоения ООП бакалавриата: «Численные методы», «Функциональный анализ», «Алгебра», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Теория линейной упругости», «Основы механики сплошной среды», «Уравнения математической физики».

Знания и умения, полученные при изучении курса «Нелинейная теория упругих оболочек» используются в дисциплинах магистратуры «Нестационарные волны в вязкоупругих системах», «Теория колебаний наследственно-упругих систем», «Асимптотический подход в задачах динамики», при выполнении научно-исследовательской работы, при прохождении научно-исследовательской и преддипломной практик и при выполнении выпускной квалификационной работы (магистерской работы).

## **3. Результаты обучения по дисциплине**

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции</b>	<b>Результаты обучения</b>
<b>УК-1.</b> Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<b>1.1_М.УК-1.</b> Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	<b>Знать:</b> – постановку задач нелинейной теории упругих оболочек, ее составляющие и связи между ними.  <b>Уметь:</b> – анализировать задачу нелинейной теории упругих

		<p>оболочек как систему.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками видения задачи нелинейной теории упругих оболочек как системы взаимосвязанных составляющих.</li> </ul>
	<p><b>1.2 М.УК-1.</b> Осуществляет поиск алгоритмов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации. Определяет в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей детальной разработке. Предлагает способы их решения.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные этапы построения и исследования моделей, описывающих большие деформации упругих оболочек;</li> <li>– основные источники информации по нелинейной теории упругих оболочек;</li> <li>– способы извлечения необходимой научно-технической информации из электронных и бумажных носителей по нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– находить на основе доступных источников информации алгоритм решения задачи нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способностью определить в рамках выбранного алгоритма задачи, подлежащие дальнейшей детальной разработке, и предложить способы их решения</li> </ul>
	<p><b>1.3 М.УК-1.</b> Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные аналитические методы решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– предвидеть результат применения различных методов решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками выбора</li> </ul>

		оптимального решения для поставленной задачи нелинейной теории упругих оболочек.
<b>УК-2.</b> Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<p><b>1.1_М.УК-2.</b> Разрабатывает концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы, формулируя цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные этапы физического и математического моделирования при решении задач о распространении стационарных волн в деформируемых телах;</li> <li>– основные математические модели нелинейной теории упругих оболочек методы их исследования.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сформулировать концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы;</li> <li>– определить ожидаемые результаты выполнения предлагаемого проекта и возможные сферы их применения.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками формулировки цели, задач, актуальности, научной и практической значимости проекта, связанного с решением задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul>
	<p><b>1.2_М.УК-2.</b> Способен видеть результат деятельности и планировать последовательность шагов для его достижения.</p> <p>Формирует план-график реализации проекта и план контроля за его выполнением.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные аналитические методы решения задач нелинейной теории упругих оболочек;</li> <li>– основные этапы физического и математического моделирования при решении задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– планировать решение задачи нелинейной теории упругих оболочек как последовательность шагов;</li> <li>– составить план-график реализации проекта и план</li> </ul>

		<p>контроля за его выполнением.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками предвидеть результат деятельности при решении задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul>
	<p><b>1.5_М.УК-2.</b> Предлагает возможные пути (алгоритмы) внедрения в практику результатов проекта (или осуществляет его внедрение).</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– допущения и упрощения, принимаемые при построении математических моделей нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– предложить возможные пути внедрения в практику результатов решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками определения соответствия между возможностями теории нелинейной теории упругих оболочек и запросами практики.</li> </ul>
<p><b>УК-6.</b> Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки</p>	<p><b>1.1_М.УК-6.</b> Находит, обобщает и творчески использует имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения в области нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– находить имеющийся опыт решения задач нелинейной теории упругих оболочек в соответствии с задачами саморазвития.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками обобщения и творческого применения имеющегося опыта решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul>
<p><b>ПК-1.</b> Способен разрабатывать новые математические модели и методы расчета поведения элементов конструкций при</p>	<p><b>1.1_М.ПК-1.</b> Обладает фундаментальными знаниями в области математики, механики деформируемых тел, теории</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– модели и уравнения теории упругости, теории колебаний, основные положения, уравнения и</li> </ul>

силовом и температурном воздействиях	колебаний.	<p>методы нелинейной теории упругих оболочек.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оценить применимость уравнений и методов нелинейной теории упругих оболочек к поставленной задаче.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– научно-технической терминологией, необходимой для формулировки и обоснования новой постановки задачи или нового метода решения задачи нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul>
	<p><b>2.1_М.ПК-1.</b> Способен собирать и анализировать данные о геометрии, физико-механическим характеристиках материалов элементов конструкции и температурно-силовым нагрузках.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способы сбора информации с помощью непосредственного измерения либо с использованием информационных ресурсов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– осуществлять обработку информации о геометрии и физико-механических характеристиках, необходимых для постановки задачи нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современными программными средствами обработки экспериментальных данных.</li> </ul>
	<p><b>3.1_М.ПК-1.</b> Может разработать и обосновать новую математическую модель, предназначенную для расчета деформации заданной системы при действии заданных нагрузок.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения в области нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сформулировать и обосновать новую математическую модель нелинейной теории упругих</li> </ul>

		<p>оболочек в соответствии с поставленной практической задачей.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками анализа и обобщения современных научных достижений в области нелинейной теории упругих оболочек, научной терминологией и математическими методами, необходимыми для формулировки и обоснования новых модели в этой области.</li> </ul>
	<p><b>4.1_М.ПК-1.</b> Способен разработать новый метод решения задач о деформировании элемента конструкции под действием заданных нагрузок.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения в области методов решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать новый метод решения задач нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками анализа и обобщения современных научных достижений в области методов решения задач нелинейной теории упругих оболочек, научной терминологией и математическими методами, необходимыми для формулировки и обоснования нового метода решения задач в этой области.</li> </ul>
	<p><b>5.1_М.ПК-1.</b> Обладает навыками тестирования разработанных моделей и методов, верификации результатов расчета.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные допущения нелинейной теории упругих оболочек, пределы их применимости, асимптотические методы построения уточненных теорий распространения волн в пластинах и оболочках.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p>

		<p>– оценить порядок погрешностей расчета по принятому методу для принятой модели.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками тестирования разработанных моделей путем сравнения с известными решениями для частных случаев, полученными другими методами.</li> </ul>
<b>ПК-2.</b> Способен к проведению теоретических и экспериментальных научных исследований в области механики деформируемого твердого тела	<p><b>1.1_М.ПК-2.</b> Демонстрирует знание современных научных достижений в области математики, механики деформируемых тел, теории колебаний.</p> <p><b>2.1_М.ПК-2.</b> Обладает навыками написания научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языках.</p> <p><b>4.1_М.ПК-2.</b> Знает современные методы проведения экспериментальных исследований, владеет методами обработки результатов экспериментов в области математики, механики деформируемых тел, теории колебаний.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения в области теории упругости, теории колебаний и волн, нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– написать научный обзор, научную статью или реферат по теме из области нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– научной терминологией нелинейной теории упругих оболочек на русском и английском языках.</li> </ul> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные методы экспериментальных исследований в области нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– обработать данные экспериментальных исследований с помощью современных методов.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современными программными средствами обработки экспериментальных данных.</li> </ul>
<b>ПК-3.</b> Способен представлять результаты собственных исследований в	<b>1.1_М.ПК-3.</b> Владеет навыками представления результатов научных	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– модели и уравнения теории упругости, теории</li> </ul>

	<p>области механики деформируемого твердого тела в форме отчета, доклада или научной статьи</p>	<p>исследований и прикладных расчетов в строгих математических формулировках и в терминах механики.</p>	<p>колебаний, основные положения, уравнения и методы нелинейной теории упругих оболочек.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– изложить результаты научных исследований в области нелинейной теории упругих оболочек в строгих математических формулировках и в терминах механики.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– научной терминологией нелинейной теории упругих оболочек.</li> </ul>
<b>ПК-4.</b> Способен к проведению расчетов деталей, узлов и отсеков конструкции на прочность и анализу их результатов	<b>1.1_М.ПК-4.</b> Владеет основными методами прикладных теорий стержней, пластин и оболочек, а также методом конечных элементов.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– модели, уравнения и методы решения задач нелинейной теории упругих оболочек в рамках прикладных теорий стержней, пластин и оболочек.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– решать задачи нелинейной теории упругих оболочек в рамках прикладных теорий стержней, пластин и оболочек.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами решения задач нелинейной теории упругих оболочек в рамках прикладных теорий стержней, пластин и оболочек.</li> </ul>	
	<b>3.1_М.ПК-4.</b> Способен провести анализ результатов расчетов и сформулировать рекомендации по доработке конструкции.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные допущения нелинейной теории упругих оболочек и пределы их применимости.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнить анализ численных результатов решения задачи нелинейной теории упругих оболочек с точки зрения соответствия напряженно-</li> </ul>	

		<p>деформированного состояния требованиями практической задачи.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– навыками разработки предложений по изменению конструкции с целью лучшего соответствия напряженно-деформированного состояния требованиями практической задачи.</li></ul>
--	--	--

#### **4. Структура и содержание дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, 16 часов практическая подготовка.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)		
				Лекции	Практические занятия		КСР	СРС	Контроль		
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка					
1	<b>Введение в теорию упругих оболочек. Основные понятия и гипотезы</b>	2	1	2	-		-	2	-	<b>4</b>	Устный опрос
2	<b>Элементы общей теории оболочек в триортогональных криволинейных координатах</b>	2	2-4	3	3		-	6	-	<b>12</b>	Устный опрос, проверка решения практических задач
2.1	Деформация оболочки	2	2	1	1		-	2	-	4	Устный опрос, проверка решения практических задач
2.2	Усилия и моменты в оболочке	2	3	1	1		-	2	-	4	Устный опрос, проверка решения практических задач
2.3	Основные уравнения общей теории оболочек	2	4	1	1		-	2	-	4	Устный опрос, проверка решения практических задач
3	<b>Геометрически нелинейная</b>	2	5-8	4	3		-	9	-	<b>16</b>	Устный опрос

	<b>теория пластин и пологих оболочек</b>										
3.1	Геометрически нелинейная теория пластин	2	5	1	1		-	3	-	5	Устный опрос, проверка решения практических задач
3.2	Геометрически нелинейная теория пологих оболочек на базе гипотез Кирхгофа	2	6-7	1	1		-	3	-	5	Устный опрос, проверка решения практических задач
3.3	Учет поперечных сдвигов и инерции вращения	2	8	2	1		-	3	-	6	Устный опрос, проверка решения практических задач
4	<b>Применение метода Бубнова-Галеркина в нелинейных задачах статики и динамики оболочек</b>	2	<b>9-10</b>	1	3		<b>1</b>	<b>10</b>	-	<b>15</b>	<b>Контрольная работа</b>
5	<b>Безмоментная теория оболочек и краевой эффект</b>	2	<b>11-14</b>	5	4		<b>1</b>	<b>5</b>	-	<b>15</b>	Устный опрос
5.1	Нелинейная безмоментная теория оболочек вращения	2	11	1	1		-	1	-	3	Устный опрос, проверка решения практических задач
5.2	Краевой эффект в нелинейной теории оболочек	2	12	2	1		-	2	-	5	Устный опрос, проверка решения практических задач
5.3	Решения некоторых задач	2	13-14	2	2		1	2	-	6	Устный опрос, проверка решения практических задач
6	<b>Деформация мягкой оболочки</b>	2	<b>15-16</b>	1	3		-	<b>6</b>	-	<b>10</b>	Устный опрос,

	<b>под действием нормального давления</b>										проверка решения практических задач
7	<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>2</b>		-	-		-	-	<b>36</b>	<b>36</b>	Экзамен
8	<b>Общая трудоемкость дисциплины – <i>108 часов, 16 часов практическая подготовка</i></b>	<b>2</b>		<b>16</b>	<b>16</b>		<b>2</b>	<b>38</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	

## **Содержание дисциплины**

### **Раздел 1. Введение в теорию упругих оболочек. Основные понятия и гипотезы**

Значение теории тонких упругих оболочек в науке и технике. Историческая справка. Основные понятия, определения, гипотезы.

### **Раздел 2. Элементы общей теории оболочек в триортогональных криволинейных координатах**

#### **2.1. Деформация оболочки**

Необходимые сведения из геометрической статики, векторной алгебры, теории поверхностей и тензорного исчисления. Геометрия деформированной срединной поверхности оболочки. Геометрия любой поверхности параллельной срединной поверхности оболочки. Закон изменения поля перемещений по толщине оболочки. Соотношения неразрывности деформированной срединной поверхности оболочки. Изменение деформаций по толщине оболочки.

#### **2.2. Усилия и моменты в оболочке**

Необходимые сведения из геометрической статики. Усилия и моменты в теории оболочек. Уравнения состояния. Потенциальная энергия деформации оболочки.

#### **2.3. Основные уравнения общей теории оболочек**

Уравнения равновесия (движения) элементарного параллелепипеда, выделенного из оболочки. Формулировки граничных условий. Два пути решения задач теории оболочек. Вариационное уравнение Лагранжа.

### **Раздел 3. Геометрически нелинейная теория пластин и пологих оболочек**

#### **3.1. Геометрически нелинейная теория пластин**

Анализ локальной деформации сплошной упругой среды в декартовых координатах. Геометрически нелинейная теория прямоугольных пластин (учет больших прогибов) на базе модели типа Лява.

#### **3.2. Геометрически нелинейная теория пологих оболочек на базе гипотез Кирхгофа**

Геометрически нелинейная теория пологих изотропных оболочек различных очертаний: двоякой кривизны, постоянного кручения, цилиндрическая.

#### **3.3. Учет поперечных сдвигов и инерции вращения**

Геометрически нелинейная теория пологих изотропных пластин на базе модели типа Рейсснера. Геометрически нелинейная модель пологой оболочки с учетом сдвига и инерции вращения.

### **Раздел 4. Применение метода Бубнова-Галеркина в нелинейных задачах статики и динамики оболочек**

Метод Бубнова-Галеркина. Применение метода Бубнова-Галеркина к решению задач о деформировании прямоугольных пластин. Применение метода Бубнова-Галеркина к решению задач о деформировании пологих оболочек.

### **Раздел 5. Безмоментная теория оболочек и краевой эффект**

### **5.1. Нелинейная безмоментная теория оболочек вращения**

Понятие о безмоментном напряженном состоянии. Основные соотношения безмоментной теории.

### **5.2. Краевой эффект в нелинейной теории оболочек**

Понятие о краевом эффекте. Краевой эффект в случае жестко защемленного края. Краевой эффект в случае шарнирно-опертого края.

### **5.3. Решения некоторых задач**

Безмоментное решение для длинной цилиндрической пластины. Краевой эффект в длинной цилиндрической пластине. Безмоментное решение для осесимметрично деформируемой оболочки вращения. Краевой эффект в осесимметрично деформируемой оболочке вращения.

## **Раздел 6. Деформация мягкой оболочки под действием нормального давления**

Основные соотношения. Задача раскроя мягкой оболочки. Зона сжатия. Конструктивно-нелинейные задачи. Контактная задача со свободной границей.

## **Практические занятия по дисциплине «Нелинейная теория упругих оболочек»**

Тема 1. Основные операции с векторами.

Тема 2. Ковариантный и контравариантные метрические тензоры.

Тема 3. Операции с тензорами второго ранга.

Тема 4. Решение нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом Галёркина.

Тема 5. Гладкая прямоугольная пластинка под действием импульсного нагружения.

Тема 6. Цилиндрическая пологая оболочка под действием кусочно-непрерывной нагрузки.

Тема 7. Свойства решений эталонного уравнения для определяющей функции краевого эффекта.

Тема 8. Решение задачи о деформации длинной цилиндрической панели под действием нормального давления.

Тема 9. Решение задачи о деформировании плоской мембранны в эллиптическую оболочку.

Тема 10. Решение задачи о свободном контактном взаимодействии пластины и абсолютно жесткого основания.

## **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

Для реализации компетентностного подхода в учебном процессе применяются следующие образовательные технологии:

1) при проведении лекционных занятий: информационные лекции, проблемные лекции, лекции беседы, лекции дискуссии, лекции с заранее запланированными ошибками;

2) при проведении практических занятий: традиционные занятия, занятия исследования, проблемные ситуации, ситуации с ошибкой;

3) при организации самостоятельной работы студентов: поиск и обработка информации, в том числе с использованием информационно-телекоммуникационных технологий; исследование проблемной ситуации; постановка и решение задач из предметной области; отработка навыков применения стандартных методов к решению задач предметной области.

В рамках занятий предусмотрена практическая подготовка, целью которой является развитие профессиональных навыков при выполнении заданий, связанных с постановкой и решением задач нелинейной теории упругих оболочек.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу студентов и руководство этой работой со стороны преподавателей. Применяются следующие формы контроля: устный опрос, проверка решения практических задач, контрольная работа.

*При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов* используются подходы, способствующие созданию безбарьерной образовательной среды: технологии дифференциации и индивидуального обучения, применение соответствующих методик по работе с инвалидами, использование средств дистанционного общения, проведение дополнительных индивидуальных консультаций по изучаемым теоретическим вопросам и практическим занятиям, оказание помощи при подготовке к промежуточной аттестации. Подготовка, при необходимости, учебных и контрольно-измерительных материалов в формах, доступных для изучения студентами с особыми образовательными потребностями (для студентов с нарушениями зрения учебные материалы подготавливаются с применением укрупненного шрифта, используются аудиозаписи занятий; для студентов с нарушением слуха предоставляются электронные лекции, печатные раздаточные материалы с заданиями для самостоятельной работы).

При необходимости, для подготовки к ответу на практическом занятии, студентам с инвалидностью и студентам с ограниченными возможностями здоровья среднее время увеличивается в 1,5–2 раза по сравнению со средним временем подготовки обычного студента.

Для студентов с инвалидностью или с ограниченными возможностями здоровья форма промежуточной аттестации устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п.). Промежуточная аттестация по дисциплине может проводиться в несколько этапов в форме рубежного контроля по завершению изучения отдельных тем дисциплины.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек»**

**Самостоятельная внеаудиторная работа** студентов проводится в форме изучения и анализа лекционного материала, изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе, подбора дополнительных источников для извлечения научно-технической информации, связанной с проблемами, изучаемыми в рамках данной дисциплины и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях, подготовки к промежуточной аттестации.

**Самостоятельная аудиторная работа** студентов проводится в форме самостоятельного решения задач на практических занятиях с дальнейшим их разбором и обсуждением; выполнения контрольных работ; поиска решений проблемных ситуаций, предложенных на лекциях и практических занятиях; поиска и устранения ошибок, заложенных в представлении материала преподавателем и допущенных другими студентами.

**Текущий контроль** усвоения дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек» проводится в форме устных опросов на лекционных и практических занятиях, разбора и обсуждения решаемых задач на практических занятиях, контрольной работы на тему «Применение метода Бубнова-Галеркина в нелинейных задачах статики и динамики оболочек».

### ***Примеры типовых заданий для контрольных работ***

#### **Контрольная работа**

#### **«Применение метода Бубнова-Галеркина в нелинейных задачах статики**

#### **и динамики оболочек»**

##### **Задача 1**

Решить задачу об изгибе прямоугольной пластины равномерным давлением величины  $p$ , используя соотношения геометрически нелинейной теории пластин. Толщина пластины равна  $h$ . На боковых сторонах пластины ставятся условия жесткой заделки. Для решения задачи использовать метод Бубнова-Галеркина. Получить разрешающую систему для коэффициентов.

##### **Задача 2**

Решить задачу о деформации пологой цилиндрической панели под действием нормальной нагрузки величины  $p$ . Толщина пластины равна  $h$ . На боковых сторонах пластины ставятся условия шарнирного опирания. Для решения задачи использовать метод Бубнова-Галеркина. Получить разрешающую систему для коэффициентов.

##### **Задача 3**

Получить решение задачи о деформировании сферической оболочки равномерным внутренним давлением, используя соотношения нелинейной безмоментной теории.

**Промежуточная аттестация** по дисциплине «Нелинейная теория упругих оболочек» проводится в форме экзамена во втором семестре.

***Список вопросов к устному экзамену***

1. Значение теории тонких упругих оболочек в науке и технике.
2. Основные вехи истории развития теории оболочек.
3. Основные понятия, определения, гипотезы.
4. Необходимые сведения из геометрической статики, векторной алгебры, теории поверхностей и тензорного исчисления.
5. Геометрия деформированной срединной поверхности оболочки.
6. Геометрия любой поверхности параллельной срединной поверхности оболочки.
7. Закон изменения поля перемещений по толщине оболочки.
8. Соотношения неразрывности деформированной срединной поверхности оболочки.
9. Изменение деформаций по толщине оболочки.
10. Необходимые сведения из геометрической статики.
11. Усилия и моменты в теории оболочек.
12. Уравнения состояния.
13. Потенциальная энергия деформации оболочки.
14. Уравнения равновесия (движения) элементарного параллелепипеда, выделенного из оболочки.
15. Формулировки граничных условий.
16. Два пути решения задач теории оболочек.
17. Вариационное уравнение Лагранжа.
18. Анализ локальной деформации сплошной упругой среды в декартовых координатах.
19. Геометрически нелинейная теория прямоугольных пластин (учет больших прогибов) на базе модели типа Лява.
20. Геометрически нелинейная теория пологих изотропных оболочек различных очертаний: двойкой кривизны, постоянного кручения, цилиндрическая.
21. Геометрически нелинейная теория пологих изотропных пластин на базе модели типа Рейсснера.
22. Геометрически нелинейная модель пологой оболочки с учетом сдвига и инерции вращения.
23. Метод Бубнова-Галеркина.

24. Применение метода Бубнова-Галеркина к решению задач о деформировании прямоугольных пластин.
25. Применение метода Бубнова-Галеркина к решению задач о деформировании пологих оболочек.
26. Понятие о безмоментном напряженном состоянии.
27. Основные соотношения безмоментной теории.
28. Понятие о краевом эффекте.
29. Краевой эффект в нелинейной теории оболочек
30. Краевой эффект в случае жестко защемленного края.
31. Краевой эффект в случае шарнирно-опертого края.
32. Безмоментное решение для длинной цилиндрической пластины.
33. Краевой эффект в длинной цилиндрической пластине.
34. Безмоментное решение для осесимметрично деформируемой оболочки вращения.
35. Краевой эффект в осесимметрично деформируемой оболочке вращения.
36. Деформация мягкой оболочки под действием нормального давления  
Основные соотношения.
37. Задача раскроя мягкой оболочки.
38. Зона сжатия.
39. Конструктивно-нелинейные задачи.
40. Контактная задача со свободной границей.

## **7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС**

**Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
2	10	0	15	15	0	35	25	100

### **Программа оценивания учебной деятельности студента**

**2 семестр**

#### ***Лекции – от 0 до 10 баллов***

Оценивается посещаемость, участие в обсуждении проблемных ситуаций, участие в дискуссиях и др. за один семестр.

*Посещаемость – от 0 до 4 баллов:*

0 баллов – присутствовал на 1-3 лекциях;

1 балл – присутствовал на 4-7 лекциях;

2 балла – присутствовал на 8-11 лекциях;

3 балла – присутствовал на 12-16 лекциях;

4 балла – присутствовал на 17-18 лекциях.

*Активность (участие в обсуждении проблемных ситуаций, участие в дискуссиях и др.) – от 0 до 6 баллов:*

0 баллов – не участвовал в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др.;

1 балл – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 1-3 лекциях;

2 балла – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 4-6 лекциях;

3 балла – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 7-9 лекциях;

4 балла – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 10-12 лекциях;

5 баллов – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 13-15 лекциях;

6 баллов – принимал участие в обсуждении проблемных ситуаций, в дискуссиях и др. на 16-18 лекциях.

#### ***Лабораторные занятия – 0 баллов***

*Не предусмотрены.*

#### ***Практические занятия – от 0 до 15 баллов***

*Посещаемость – от 0 до 7 баллов:*

- 0 баллов – не посещал лекции или присутствовал на 1-2 практических занятиях;  
2 балла – присутствовал на 3-5 практических занятиях;  
4 балла – присутствовал на 6-10 практических занятиях;  
6 баллов – присутствовал на 11-16 практических занятиях;  
7 баллов – присутствовал на 17-18 практических занятиях.

*Активность (самостоятельность при решении задач, правильность решения задач, участие в обсуждении решений, поиск и устранение ошибок в решениях, допущенных другими участниками образовательного процесса) – от 0 до 8 баллов:*

- 0 баллов – не проявлял активности на практических занятиях;  
2 балла – проявил активность на 1-4 практических занятиях;  
4 балла – проявил активность на 5-9 практических занятиях;  
6 баллов – проявил активность на 10-16 практических занятиях;  
8 баллов – проявил активность на 17-18 практических занятиях.

***Самостоятельная работа – от 0 до 15 баллов***

- 0 баллов – выполнено менее 5% домашних заданий;  
4 баллов – выполнено от 5% до 25% домашних заданий;  
8 баллов – выполнено от 26% до 50% домашних заданий;  
12 баллов – выполнено от 51% до 75% домашних заданий;  
15 баллов – выполнено от 76% до 100% домашних заданий.

***Автоматизированное тестирование – 0 баллов***

*Не предусмотрено.*

***Другие виды учебной деятельности – от 0 до 35 баллов***

Контрольная работа оценивается от 0 до 35 баллов, в том числе:

- правильность и степень самостоятельности постановки задачи – от 0 до 10 баллов;
- правильность и степень самостоятельности решения – от 0 до 15 баллов;
- правильность и степень самостоятельности анализа и интерпретации полученных результатов – от 0 до 10 баллов.

***Промежуточная аттестация – от 0 до 25 баллов***

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена.

При проведении промежуточной аттестации:

- ответ на «отлично» оценивается от 20 до 25 баллов;
- ответ на «хорошо» оценивается от 13 до 19 баллов;
- ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 12 баллов;
- ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимальная возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 2 семестр по дисциплине «Нелинейная теория упругих оболочек» составляет **100** баллов.

Таблица 2. Перерасчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Нелинейная теория упругих оболочек» в оценку

86-100 баллов	«отлично»
от 76 до 84 баллов	«хорошо»
от 60 до 75 баллов	«удовлетворительно»
0-59 баллов	«неудовлетворительно»

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек»**

*a) литература:*

1. Бегун П. И., Кормилицын О. П. Прикладная механика: учебник. Санкт-Петербург: Политехника, 2006
2. Жилин П. А. Прикладная механика. Основы теории оболочек: учеб. Пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.

*б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:*

1. ОС Windows (лицензионное ПО) или ОС Unix/Linux (свободное ПО)
2. Microsoft Office (лицензионное ПО) или Open Office/Libre Office (свободное ПО)
3. Браузеры Internet Explorer, Google Chrome, Opera и др. (свободное ПО).

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Нелинейная теория упругих оболочек»**

Для проведения занятий по дисциплине «Нелинейная теория упругих оболочек», предусмотренной учебным планом ООП магистратуры по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование» и профилю подготовки «Механика деформируемого твердого тела», имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- мультимедийная лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами, маркерными досками для демонстрации учебного материала;
- специализированные классы, предназначенные для проведения практических занятий;
- библиотечный фонд, укомплектованный печатными изданиями, перечисленными в разделе 8 в необходимом количестве;
- электронная библиотека;
- специально оборудованные помещения для самостоятельной работы обучающихся с компьютерным оборудованием и доступом к сети Интернет.

Практическая подготовка осуществляется в специализированном структурном подразделении университета “Образовательно-научный институт наноструктур и биосистем”, который располагает оборудованием, необходимым для проведения практических занятий по дисциплинам направления подготовки 01.04.03 «Механика и математическое моделирование» (профиль «Механика деформируемого твердого тела»).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 01.04.03 «Механика и математическое моделирование», профилю подготовки: «Механика деформируемого твердого тела».

Автор: д.ф.-м.н., профессор кафедры математической теории упругости и биомеханики Вильде М.В.

Программа одобрена на заседании кафедры математической теории упругости и биомеханики от 10.10.2024 года, протокол № 5.