



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО».

Руководитель ОП

Механика деформируемого твердого тела

(название образовательной программы)

 О.Н. Любимова

(подпись) (Ф.И.О)


«23» декабря 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой

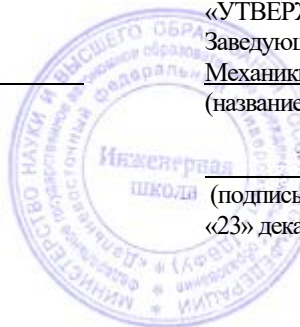
Механики и математического моделирования

(название кафедры)

 А.А. Бочарова

(подпись) (Ф.И.О)

«23» декабря 2019 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Механика оболочек**

Направление подготовки 01.06.01 Математика и механика  
Профиль «Механика деформируемого твердого тела»  
Форма подготовки – очная

Инженерная школа  
Кафедра механики и математического моделирования  
курс 2 семестр 4  
лекции 18 час. / 0.5 з.е.  
практические занятия 18 час. / 0.5 з.е.  
лабораторные работы 0 час. / 0 з.е.  
всего часов аудиторной нагрузки 36 (час.) / 1 з.е.  
самостоятельная работа 72 (час.) / 2 з.е.  
контрольные работы (0)  
курсовая работа / курсовой проект \_ семестр  
зачет \_ семестр  
экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 866

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры механики и математического моделирования, протокол от 24.06.2019 № 11

Составитель: канд. физ.-мат наук., профессор кафедры механики и математического моделирования О.Н. Любимова

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Механика оболочек» предназначена для аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, профиль «Механика деформируемого твердого тела». Трудоемкость дисциплины – 3 зачетные единицы (108 академических часов), включает в себя 18 часов лекций, 18 часов практических занятий и 54 часа самостоятельной работы. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в четвертом семестре. Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» входит в вариативную часть учебного плана Б1.В.ОД.5 и является обязательной дисциплиной.

**Целью** изучения дисциплины «Механика оболочек» является ознакомление аспирантов с теоретическими основами и практическими методами решения инженерных и научно-исследовательских задач расчёта и проектирования сложных инженерных сооружений.

### **Задачи дисциплины:**

1. Развитие представлений о соотношениях между реальными объектами (инженерными сооружениями), их физическими и математическими моделями.
2. Изучение теории и методов расчёта статике и устойчивости оболочек.
3. Овладение навыками решения задач статике оболочек и анализа получаемых результатов.
4. Ознакомление с принципами проектирования инженерных сооружений, содержащих оболочки.

**Интерактивные формы обучения** составляют 4 часа и включают в себя 2 часа лекционных занятий (проблемная лекция), 2 часа практических занятий (обсуждение доклада).

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения

образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих компетенций (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ОПК - 1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	Знает	методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий
	Умеет	планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
	Владеет	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой
<p>ПК - 1 самостоятельно выполнять научные исследования в области механики деформируемого твердого тела, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установление законов деформирования, повреждения и разрушения материалов; выявлять новые связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения</p>	Знает	научные основы и закономерности механических явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов.
	Умеет	использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.
	Владеет	современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Механика оболочек» применяются следующие методы активного / интерактивного обучения: презентации, кейс-технологии, проблемные лекции, метод анализа конкретных ситуаций, метод разыгрывания ролей, метод игрового производственного проектирования, мозговой штурм, интерактивное занятие с применением видеоматериалов, и др.

Широкое применение получают методы: круглые столы (дискуссии, дебаты), тематические конференции, деловые игры, имитирующие реальные условия проведения исследования прочности строительных материалов и изделий.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**(18 час., в том числе 2 час. с использованием методов активного обучения)**

### **РАЗДЕЛ 1. Линейная теория тонких упругих оболочек. (14 час.)**

#### **Тема 1. Исходные положения (2 час.)**

Принципы построения физически состоятельной линейной теории тонких упругих оболочек. Допущения теории; координатные линии. Запись уравнений линейной теории. Уравнения движения (равновесия). Уравнения геометрии сплошной среды. Уравнение баланса работы внешних и внутренних поверхностных сил на перемещениях краевых поверхностей оболочки. Переход от уравнений движения к уравнениям равновесия.

#### **Тема 2. Перемещения и деформации тонких оболочек (2 час.)**

Дополнительные внутренние связи, налагаемые на материал оболочки гипотезами Кирхгофа-Тимошенко. Определение радиальных и тангенциальных перемещений оболочки, их связь с перемещениями точек срединной поверхности. Определение деформаций оболочки.

Вспомогательные параметры деформации оболочки и её срединной поверхности.

### **Тема 3. Уравнения неразрывности деформаций срединной поверхности оболочки (проблемная лекция) (2 час.)**

Условия, налагаемые сплошностью срединной поверхности и оболочки в целом. Уравнение деформированной срединной поверхности в векторной форме. Определение производных радиуса-вектора по криволинейным координатам. Нормали к деформированной срединной поверхности. Уравнения неразрывности деформаций срединной поверхности. Совпадение уравнений для случаев использования гипотез Кирхгофа и Кирхгофа-Тимошенко.

### **Тема 4. Внутренние усилия и моменты (проблемная лекция) (2 час.)**

Пространственный элемент оболочки и напряжения, действующие по его граням. Определение внутренних усилий (тангенциальных и сдвигающих сил, изгибающих и крутящих моментов) в координатных плоскостях. Принятое правило знаков. Механическое взаимодействие оболочки с окружающей средой. Проблема краевых условий на торцевых поверхностях.

### **Тема 5. Уравнения равновесия оболочки (2 час.)**

Условия равновесия. Уравнения равновесия пространственного элемента оболочки. Неизвестные силовые факторы в уравнениях; статическая неопределимость задачи о равновесии оболочки.

### **Тема 6. Уравнения состояния оболочки (проблемная лекция) (2 час.)**

Связь внутренних силовых факторов с параметрами деформации срединной поверхности, параметрами изгиба и кручения оболочки и осреднёнными деформациями поперечного сдвига. Вывод уравнений состояния для различных степеней анизотропии материала. Формулы для определения напряжений в тонкой оболочке.

### **Тема 7. Уравнения статики тонких упругих оболочек (1 час.)**

Сводка уравнений механики оболочек. Количество, тип уравнений, количество неизвестных в системе уравнений статики оболочек. Три пути

решения уравнений статики оболочек. Определение порядка дифференциальных уравнений механики оболочек (на примере пластины). Статико-геометрическая аналогия.

**Тема 8. Уравнения динамики тонких упругих оболочек. Дополнительные вопросы теории оболочек (1 час.)**

Основные задачи динамики оболочек. Особенности решения задачи определения собственных частот колебаний оболочки. Уравнения динамики оболочки. Порядок системы дифференциальных уравнений динамики оболочки.

Краевые условия на торцевых поверхностях оболочки. Особенности краевых условий для замкнутых оболочек (условия периодичности). Типовые примеры краевых условий. Условия сопряжения оболочки со смежными конструкциями. Начальные условия в задачах динамики оболочек. Потенциальная и кинетическая энергия оболочки. Погрешности линейной теории тонких упругих оболочек.

**РАЗДЕЛ 2. Устойчивость оболочек. (4 час.)**

**Тема 1. Современное состояние теории устойчивости оболочек (2 час.)**

Актуальность проблемы устойчивости конструкций. Проблемы теории устойчивости оболочек. Основные этапы развития теории устойчивости оболочек. Традиционные представления теории устойчивости оболочек. Влияние начальных несовершенств оболочки на критическую нагрузку. Развитие экспериментальных исследований устойчивости оболочек. Новое направление в согласовании теории с экспериментом. Высвобождение потенциальной энергии растянутых круговых элементов оболочки при потере устойчивости.

**Тема 2. Высвобождение потенциальной энергии деформированных элементов оболочки в процессе потери устойчивости. Уравнения теории устойчивости оболочек и их решение (2 час.)**

Механизм высвобождения и воздействия на оболочку высвобождаемой потенциальной энергии её деформированных элементов. Особенности поведения замкнутой (сферической – с положительной гауссовой кривизной) оболочки по сравнению с цилиндрической (с нулевой гауссовой кривизной). Определение внутренних сил упругости при статическом высвобождении потенциальной энергии. Определение внутренних сил упругости при динамическом высвобождении потенциальной энергии.

Принципы построения уравнений устойчивости. Составление системы уравнений. Уравнения прикладной теории устойчивости оболочек. Уравнения устойчивости пологих оболочек. Краевые условия в задачах устойчивости оболочек. Пределы применимости уравнений устойчивости оболочек. Методы решения уравнений устойчивости оболочек. Некоторые примеры.

Заключение. Общие соображения о развитии теории устойчивости оболочек.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**(18 час., в том числе 2 час. с использованием методов активного обучения)**

**Практические занятия (18/2 час.)**

**Занятие 1. Расчёт круговой цилиндрической оболочки, нагруженной погонными моментами и поперечными силами по торцу (2 час)**

Расчёт круговой цилиндрической оболочки неограниченной длины, нагруженной погонными моментами и поперечными силами по торцу. Из общего решения для радиального перемещения вдоль образующей определяются производные по координате, через которые получают выражения для изгибающего момента и поперечной силы. После подстановки граничных условий находится уравнение упругой линии оболочки. Полученное решение используется в следующих задачах.

Результат решения (радиальные перемещения) изображается в виде графика зависимости перемещения от продольной координаты (расстояния точки оболочки от торца).

### **Занятие 2. Расчёт длинной цилиндрической оболочки, подкреплённой кольцами (2 час)**

Расчёт напряжений и деформаций в цилиндрической оболочке неограниченной длины, подкреплённой абсолютно жёсткими / деформируемыми кольцами, расположенными на значительном удалении друг от друга, при действии наружного равномерного давления. Усилие взаимодействия сжимает кольцо и вызывает изгиб оболочки. Для определения этого усилия используется решение, полученное в предыдущей задаче.

Результатом решения являются напряжения в оболочке и в кольце для случаев жёсткого и деформируемого колец.

### **Занятие 3. Расчёт длинной цилиндрической оболочки, подкреплённой кольцами (обсуждение доклада) (2 час)**

Условия задачи прежние. Но, в отличие от предыдущей задачи, расстояние между кольцами сравнительно невелико, в результате чего существует взаимное влияние между кольцами. Рассчитываются напряжения в кольцах и в сечениях оболочки по кольцу и между ними.

Результатом решения являются напряжения на наружной и на внутренней поверхностях оболочки в сечениях по кольцу и между ними, а также в кольце.

### **Занятие 4. Расчёт узла сопряжения цилиндрической оболочки с полусферическим днищем (2 час)**

При решении используется результат, полученный в первой задаче. Усилия взаимодействия определяются из условия совместности деформаций



цилиндрической и сферической частей оболочки. Результат решения – погонная поперечная сила по линии сопряжения частей оболочки.

#### **Занятие 5. Расчёт узла сопряжения цилиндрической оболочки с плоским днищем (обсуждение доклада) (2 час)**

Задача подобна предыдущей, но отличается тем, что торцевая поверхность является плоской пластиной. Определяются нормальные и касательные напряжения по линии сопряжения частей оболочки. Результат показателен тем, что позволяет выявить преимущество оболочки по сравнению с пластиной в сосудах, нагруженных внешним (или внутренним) давлением.

#### **Занятие 6. Расчёт полусферического сосуда на гидростатическую нагрузку (2 час)**

Тонкостенный сосуд в виде полусферы, открытый сверху, частично заполнен жидкостью (водой). Результатом расчёта является построение эпюр главных напряжений в оболочке (по параллели и меридиану).

#### **Занятие 7. Устойчивость круглого кольца под действием равномерного давления (2 час) (обсуждение доклада)**

Расчёт цилиндрической оболочки, подкреплённой одинаковыми равноотстоящими круговыми кольцами (рёбрами жёсткости) и подвергающейся равномерному внешнему давлению. Определяется эйлерова нагрузка, соответствующая наложению волн на исходную круговую форму оболочки.

#### **Занятие 8. Устойчивость замкнутой цилиндрической оболочки, подкреплённой круговыми рёбрами жёсткости, под действием равномерного давления (2 час)**

В отличие от предыдущей задачи, сжимающие усилия действуют не только в радиальном, но и в осевом направлении. Это приводит к появлению

других форм потери устойчивости. Возможны искривление оси оболочки или изгиб оболочки между рёбрами.

В результате решения определяются критические напряжения для оболочки, соответствующие потере устойчивости.

### **Занятие 9. Расчёт сферического купола под действием сил собственного веса (2 час)**

Оболочка в виде сферического сегмента подвергается действию собственного веса, величина которого на единицу площади постоянная. Подлежат определению главные напряжения в оболочке.

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» представлено в приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ П/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды, наименование и этапы формирования компетенций	Оценочные средства	
			Текущий контроль	Промежуточный контроль
1	Элементы вычислительной и линейной алгебры	ОПК-1 ПК-1,	собеседование, конспект	вопросы к кандидатскому экзамену 1-12

2	Средства компьютерного моделирования	ОПК-1 ПК-1	собеседование, конспект	вопросы к кандидатскому экзамену 13-24
---	--------------------------------------	---------------	----------------------------	--

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература (печатные и электронные издания)

1. Пикуль В.В. Механика оболочек: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Владивосток: Издательство ДВФУ, 2013. – <http://ini-fb.dvgu.ru/scripts/refget.php?ref=/000/293.iso>
2. Пикуль В.В. Механика оболочек. / В.В. Пикуль. - Владивосток: Дальнаука, 2009. – 536 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:304528&theme=FEFU>
3. Пикуль В.В. Современные проблемы науки в области прикладной механики: Учебник: В 2 ч. Ч. 2. Механика оболочек. / В.В. Пикуль. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. – 524 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:395334&theme=FEFU>
4. Любимова О.Н. Метод расчета термоупругих напряжений для оболочек из стеклометаллокомпозита / О. Н. Любимова ; Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток: Изд. дом Дальневосточного федерального университета, 2012. – 77 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:679367&theme=FEFU>

## **Дополнительная литература** (печатные и электронные издания)

1. Карпов В.В. Программный комплекс исследования устойчивости оболочек. / В.В. Карпов, Д.А. Баранова, Р.Т. Беркалиев. - СПб.: СПбГАСУ, 2009. - 104 с. <http://window.edu.ru/resource/221/67221>
2. Иванов И.С. Расчет и проектирование технологической оснастки в машиностроении: Учебное пособие / И.С. Иванов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 198 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=405031>
3. Васильков Г.В. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. Учебник / Г.В. Васильков, З.В. Буйко. – СПб: Лань, 2013. – 256 с. <http://e.lanbook.com/view/book/5110/>
4. Рахматулин, Х. А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках [Электронный ресурс] / Х. А.Рахматулин , Ю. А. Демьянов. - 2-е изд., доп. - М.: Университетская книга; Логос, 2009. - 512 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=469468>
5. Богомаз, И. В. Механика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. В. Богомаз. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 346 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=442969>
6. Варданян Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Уч. / В.И.Андреев и др.; Под ред. Г.С.Варданяна, Н.М.Атарова. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 638 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=448729>

### **Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Научная электронная библиотека НЭБ:  
<http://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery>
2. Сайт «Мой сопромат»:  
<http://www.mysopromat.ru/cgi-bin/index.cgi>
3. Научная библиотека ДВФУ публичный онлайн каталог:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/search/query?theme=FEFU>

4. Информационная система ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/resource>
5. ЭБС «Консультант аспиранта»: <http://www.studentlibrary.ru/>
6. ЭБС znanium.com НИЦ «ИНФРА-М»: <http://znanium.com/>
7. Электронно-библиотечная система издательства «Лань»: <http://e.lanbook.com/>
8. Деформация и разрушение материалов. Ежемесячный рецензируемый научно-технический журнал:  
[http://www.nait.ru/journals/index.php?p\\_journal\\_id=14](http://www.nait.ru/journals/index.php?p_journal_id=14)
9. Динамика, прочность и износостойкость машин. Электронный журнал.  
<http://pent.sopro.susu.ac.ru/W/ej/index.html>
10. Цифровые датчики семейства ZETSENSOR. Электронные технологии и метрологические системы: <http://www.zetlab.ru/catalog/vibrostats/>  
<https://zetlab.com/podderzhka/tsifrovyie-datchiki-semeystva-zetsensor/>

## VI. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

№ п/п	Место расположения компьютерной техники, на которой установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
1	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус А, ауд. А1017 Аудитория для самостоятельной работы аспирантов, рабочих мест -15.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment №62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "Softline Trade" Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18. ESET NOD32 Secure Enterprise Контракт №ЭА-091-18 от 24.04.2018. Сублицензионное соглашение Blackboard № 2906/1 от 29.06.2012.
2	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е605 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment №62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "Softline Trade" Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18. ESET NOD32 Secure Enterprise Контракт №ЭА-091-18 от 24.04.2018. Сублицензионное соглашение Blackboard №2906/1 от 29.06.2012.
3	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е604а. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов, рабочих мест - 4.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment №62820593. Дата окончания 2020-06-30. Родительская программа Campus 3 49231495. Торговый посредник: JSC "Softline Trade" Номер заказа торгового посредника: Tr000270647-18. ESET NOD32 Secure Enterprise Контракт №ЭА-091-18 от

## VII.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы с указанием адреса	Перечень основного оборудования
1	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус А, ауд. А1017Аудитория для самостоятельной работы аспирантов.	Учебная мебель на 15 рабочих мест, Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox -1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками XeroxWorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.).
2	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е604а.Аудитория для самостоятельной работы аспирантов.	Оборудование: Учебная мебель на 4 рабочих места, Компьютер Lenovo C360G-i3-4130T 4GB DDR3-1600 SODIMM (1x4GB) 500 GB, клавиатура, компьютерная мышь - - 3 шт; Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C-1 шт.)
3	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е605Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Учебная мебель на 16 рабочих мест, Место преподавателя (стол, стул), мультимедийный проектор OptimaEX542I – 1 шт; аудио усилитель QVC RMX 850 – 1 шт; колонки – 1 шт; ноутбук; ИБП – 1 шт; настенный экран; микрофон – 1 шт. Доска аудиторная.
4	690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус Е, ауд. Е605а Помещение для хранения и профилактики учебного оборудования	Учебная мебель на 1 рабочее место

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Механика оболочек»**

**Направление подготовки**

01.06.01 Математика и механика

Профиль «Механика деформируемого твердого тела»

**Форма подготовки (очная)**

**Владивосток  
2019**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-12 недели	Проработка материала раздела 1	30 часов	Конспект лекций
2	13-18 недели	Проработка материала раздела 2	24 часа	Конспект лекций

### Методические указания по организации самостоятельной работы

Освоение материала по тематике дисциплины предполагает выполнение самостоятельной работы аспирантами, которая призвана углубить и закрепить конкретные теоретические и практические знания, полученные на аудиторных занятиях.

В рамках самостоятельной подготовки к занятиям аспиранты самостоятельно изучают вопросы по пройденным темам, используя при этом учебную литературу из предлагаемого списка, периодические печатные издания, научную и методическую информацию, базы данных информационных сетей (Интернет и др.).





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Механика оболочек»**  
**Направление подготовки**  
01.06.01 Математика и механика  
Профиль «Механика деформируемого твердого тела»  
**Форма подготовки (очная)**

**Владивосток**  
**2019**

# ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине «Механика оболочек»

## Формируемые компетенции

**ОПК – 1   Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>Знает:</b> методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий	Общие, но не структурированные знания методов реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания методов реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с

					использованием информационно-коммуникационных технологий
<b>Умеет:</b> планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	отсутствие умений	Частично освоенное умение планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешно, но не систематически осуществляемое умение планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Сформированное умение планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
<b>Владеет:</b> навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой	не владеет	Фрагментарное применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выбора методов и средств решения задач исследования, навыков работы с вычислительной техникой	В целом успешное, но не систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выбора методов и средств решения задач исследования, навыков работы с вычислительной техникой	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выбора методов и средств решения задач исследования, навыков работы с вычислительной техникой	Успешное и систематическое применение навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выбора методов и средств решения задач исследования, навыков работы с вычислительной техникой

			техникой		техникой
<b>Шкала оценивания</b> (соотношение с традиционными формами аттестации)	неудовлетворительн о	неудовлетворительн о	удовлетворительно	хорошо	отлично

**ПК - 1 самостоятельно выполнять научные исследования в области механики деформируемого твердого тела, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установление законов деформирования, повреждения и разрушения материалов; выявлять новые связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>Знает:</b> научные основы и закономерности механических явлений, применяемые для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между структурой материалов.	Отсутствие знаний научных основ и закономерностей механических явлений, применяемых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между	Фрагментарные знания научных основ и закономерностей механических явлений, применяемых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых	Общие, но не структурированные знания научных основ механических явлений, применяемых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания научных основ и механических явлений, применяемых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов,	Сформированные систематические знания научных основ и механических явлений, применяемых для изучения законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, выявления новых связей между

	структурой материалов.	связей между структурой материалов.	связей между структурой материалов.	выявления новых связей между структурой материалов.	структурой материалов.
<b>Умеет:</b> использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	отсутствие умений использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	Частично освоенное умение использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	В целом успешно, но не систематически осуществляемое умение использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	Сформированное умение использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.
<b>Владеет:</b> современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, компьютерными технологиями,	не владеет современными методами и технологиями вычислительной математики и механики,	Фрагментарное применение современных методов и технологий вычислительной математики и	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов технологий	Успешное и систематическое применение современных методов вычислительной математики и

применяемыми в области механики деформируемого твердого тела	компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела	механики, компьютерных технологий, применяемых в области механики деформируемого твердого тела	вычислительной математики и механики, компьютерных технологий, применяемых в области механики деформируемого твердого тела	вычислительной математики и механики, компьютерных технологий, применяемых в области механики деформируемого твердого тела	механики, компьютерных технологий, применяемых в области механики деформируемого твердого тела
<b>Шкала оценивания</b> (соотношение с традиционными формами аттестации)	неудовлетворительно	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично

## Перечень оценочных средств

№ п/п	Контролируемые части дисциплины	Коды компетенций и планируемые результаты обучения		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Теоретическая часть	ОПК - 1	Знает методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий	коллоквиум	вопросы для подготовки к экзамену
			ПК –1		
			Умеет использовать базовый физико-математический аппарат, вычислительные методы и методы компьютерного моделирования для выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.	собеседование	
2	Практическая часть	ОПК - 1	Умеет планировать и осуществлять научно-исследовательскую деятельность с применением современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Доклад	
			Владеет навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с		

			вычислительной техникой	
		ПК –1	Владеет современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, компьютерными технологиями, применяемыми в области механики деформируемого твердого тела	Расчетно-графическая работа



# КОМПЛЕКСЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ

## Вопросы для коллоквиума

по дисциплине «Механика оболочек»

**Раздел «Определение деформаций оболочки».**

1. Принципы построения физически состоятельной линейной теории тонких упругих оболочек.
2. Допущения теории; координатные линии.
3. Запись уравнений линейной теории.
4. Уравнения движения (равновесия).
5. Уравнения геометрии сплошной среды.
6. Уравнение баланса работы внешних и внутренних поверхностных сил на перемещениях краевых поверхностей оболочки.
7. Переход от уравнений движения к уравнениям равновесия.
8. Дополнительные внутренние связи, налагаемые на материал оболочки гипотезами Кирхгофа-Тимошенко.
9. Определение радиальных и тангенциальных перемещений оболочки, их связь с перемещениями точек срединной поверхности.
10. Определение деформаций оболочки.
11. Вспомогательные параметры деформации оболочки и её срединной поверхности.
12. Условия, налагаемые сплошностью срединной поверхности и оболочки в целом.
13. Уравнение деформированной срединной поверхности в векторной форме.
14. Определение производных радиуса-вектора по криволинейным координатам.
15. Нормали к деформированной срединной поверхности.
16. Уравнения неразрывности деформаций срединной поверхности.

17. Совпадение уравнений для случаев использования гипотез Кирхгофа и Кирхгофа-Тимошенко.

### **Вопросы для собеседования**

по дисциплине «Механика оболочек»

#### **Раздел «Общие принципы расчёта оболочек»**

1. Сформулируйте основные уравнения механики оболочек.
2. Как определить количество, тип уравнений, количество неизвестных в системе уравнений статики оболочек?
3. Какие существуют методы решения уравнений статики оболочек?
4. Как определить порядок дифференциальных уравнений механики оболочек (на примере пластины)?
5. Сформулируйте основные задачи динамики оболочек.
6. Сформулируйте уравнения динамики оболочки.
7. Опишите краевые условия на торцевых поверхностях оболочки.
8. Сформулируйте особенности краевых условий для замкнутых оболочек (условия периодичности).
9. Приведите примеры краевых условий.
10. Сформулируйте условия сопряжения оболочки со смежными конструкциями.
11. Каковы начальные условия в задачах динамики оболочек?
12. Как вычисляется потенциальная и кинетическая энергия оболочки?
13. Расскажите о погрешности линейной теории тонких упругих оболочек.

### **Темы докладов**

по дисциплине «Механика оболочек»

1. **Тонкостенные оболочки как элементы конструкций.** Фактор снижения материалоемкости конструкции. Оболочки как эффективное

решение проблемы минимизации массы в строительных сооружениях. Основные геометрические параметры оболочки, относительная толщина.

2. **Расчет осесимметричных оболочек.** Понятие оболочки и ее параметров, распространение оболочек в технике. Сущность гипотезы Кирхгофа–Лява и уравнения Лапласа. Условия существования безмоментного напряжённого состояния оболочки. Закономерности, характерные для толстостенных цилиндров.

3. **Основы расчёта оболочек.** Расчет цилиндрической оболочки, подкрепленной шпангоутами. Исследование напряжённо-деформированного состояния полусферической и сферической оболочек, заполненных жидкостью. Расчёт сферического топливного бака с опорой по экватору. Расчет прочности бака.

4. **Проверка прочности узла сопряжения двух оболочек по моментной теории.** Определение краевых нагрузок и составление расчётной схемы сопряжения двух оболочек колонного аппарата. Составление уравнений совместимости радиальных и угловых деформаций. Определение длины зоны, типа напряжений края и прогибов цилиндрической оболочки.

5. **Сложное напряженное состояние.** Обзор критериев пластичности. Изучение примеров определения эквивалентных напряжений и коэффициентов запаса. Гипотеза наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения. Тонкостенные оболочки, находящиеся под действием гидростатического давления.

### **Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы**

по дисциплине «Механика оболочек»

**Задание 1.** «Проектирование плоского перекрытия».

Перекрытие имеет прямоугольную форму, шарнирно опёрто по контуру и загружено равномерно распределённой по его площади нагрузкой. Оно состоит из стальных листов, подкреплённых большим количеством

одинаковых и равноотстоящих балок главного направления и одной перекрёстной связи, которая делит его пополам по ширине.

Задаются: длина и ширина перекрытия, интенсивность нагрузки на него, расстояние между балками главного направления, допускаемые напряжения.

Содержание задания:

1. Рассчитать толщину листов перекрытия из условия прочности пластин на изгиб.
2. Рассчитать требуемый момент сопротивления и подобрать в первом приближении профиль балок главного направления.
3. Рассчитать требуемый момент инерции и подобрать в первом приближении профиль перекрёстной связи из условия поддержания ею балок главного направления.
4. Рассчитать напряжения в балках и пластинах от изгиба перекрытия, проверить устойчивость пластин. При проверке прочности балок главного направления рассмотреть балку, примыкающую к опорному контуру перекрытия, и балку, расположенную посередине его пролёта.
5. Если при достижении фибровой текучести в балках устойчивость пластин не обеспечивается, определить новую толщину пластин.
6. Откорректировать размеры профилей балок и выполнить повторные расчёты напряжений. Определить массу перекрытия.
7. Дать заключение о выполнении условий прочности и устойчивости элементов перекрытия.

**Требуется** спроектировать плоское прямоугольное перекрытие, состоящее из настила и подкрепляющего его набора, на действие нагрузки от равномерного (гидростатического) давления. Набор располагается со стороны, не подверженной нагрузке (с внутренней стороны при наружном давлении). Материал – малоуглеродистая сталь с пределом текучести  $\sigma_T = 235$  МПа. Перекрытие свободно опёрто по всем краям. Схема перекрытия показана на рис. 1. Набор состоит из одинаковых равноотстоящих балок

главного направления (БГН) и одной перекрёстной связи (ПС), которая делит перекрытие по ширине пополам. Допускаемые нормальные напряжения  $[\sigma]$  для балок и пластин принять равными  $0,6 \sigma_T = 141$  МПа.

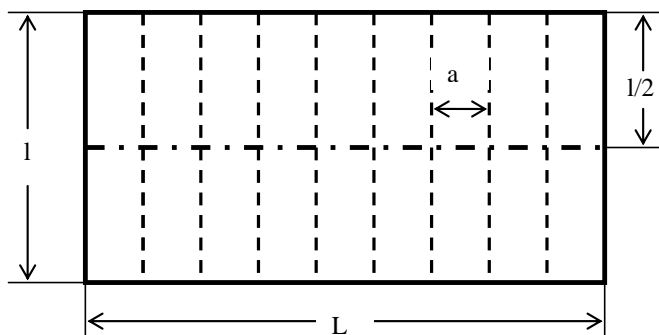


Рис. 1. Схема перекрытия

Порядок проектирования рассматриваем на конкретном примере.

Исходные данные для расчёта: длина  $L = 20$  м; ширина  $l = 6$  м; расстояние между балками главного направления (шпация)  $a = 0,5$  м; гидростатический напор 2 м вод. ст.; требуемый коэффициент запаса устойчивости пластин – 2,0; плотность стали  $7,85$  т/м<sup>3</sup>.

Требуется:

определить толщину листов по условиям прочности и устойчивости;

определить момент сопротивления балок главного направления (БГН);

определить момент инерции перекрёстной связи (ПС);

подобрать профиль балок главного направления (полособульб несимметричный);

подобрать профиль перекрёстной связи (сварной тавр);

рассчитать напряжения в балках и пластинах;

рассчитать массу спроектированного перекрытия.

При проектировании учитывается следующее.

Листовые конструкции рассматриваются как пластины, жёстко заделанные по контуру и загруженные равномерно распределённой нагрузкой. Ввиду того, что один из размеров (длина) пластины значительно больше другого (ширины), при расчёте пластина заменяется балкой-

полоской. Напряжения от изгиба пластины на её опорном контуре не должны превышать допусковых. Сжимающие напряжения, обусловленные работой пластин в качестве присоединённых поясков перекрёстной связи, не должны вызывать потерю устойчивости с требуемым коэффициентом запаса.

Подбор профилей балок, образующих перекрытие, осуществляется с учётом предъявляемых требований:

1) рациональное использование материала (минимальная масса при соблюдении условий прочности);

2) минимальные габариты (если помещение занято грузом или оборудованием; к примеру, на танкере, перевозящем наливные грузы, это требование не является определяющим);

3) обеспечение минимальных толщин элементов балок, необходимых с точки зрения сопротивления износу, коррозии и пр. (в курсовой работе введение надбавок на коррозию не предусмотрено);

4) конструктивность и технологичность узлов.

Момент сопротивления профиля, работающего на изгиб, в первом приближении (с ошибкой в безопасную сторону) можно определить как произведение высоты профиля на площадь пояска (полки) балки. Экономия массы достигается уменьшением отношения толщины стенки балки к её высоте. Но при этом должны быть выполнены условия устойчивости стенки. Площадь стенки должна быть достаточной для восприятия действующей перерезывающей силы. Прочность балки на срез заведомо выполняется при отношении длины балки к её высоте, примерно равном 10 – 15 (в зависимости от вида нагрузки, условий закрепления и соотношения площадей полки и стенки). При известной площади полки её размеры (ширина и толщина) также должны удовлетворять условиям устойчивости.

Для балок из малоуглеродистой стали, находящихся в условиях изгиба со сдвигом, устойчивость стенки до предела текучести обеспечивается при отношении высоты к толщине не более 60. Из конструктивных соображений это отношение можно принимать в пределах 30 – 50 (в среднем около 40).

Ширина полки, симметричной относительно стенки, должна превышать её толщину не более чем в 35 раз. Обычно это отношение бывает значительно меньше (примерно 10 – 15). Кроме того, должна обеспечиваться устойчивость плоской формы изгиба профиля в целом.

## **ЗАЧЕТНО-ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Вопросы для подготовки к экзамену**

1. Исходные положения линейной теории тонких упругих оболочек.
2. Состав и структура системы уравнений линейной теории оболочек.
3. Принципы и порядок определения перемещений и деформаций тонких оболочек.
4. Параметры деформации срединной поверхности оболочки.
5. Построение уравнений неразрывности деформаций срединной поверхности оболочки.
6. Определение внутренних усилий и моментов в тонкой оболочке.
7. Понятие о механическом взаимодействии оболочки с окружающей средой.
8. Принципы построения уравнений равновесия оболочки.
9. Принципы построения уравнений состояния оболочки.
10. Определение напряжений в оболочке.
11. Структура системы уравнений статики тонких упругих оболочек.
12. Пути решения задач статики оболочек.
13. Порядок дифференциальных уравнений механики оболочек.
14. Статико-геометрическая аналогия.
15. Понятие о динамике упругих оболочек.
16. Формулировка краевых и начальных условий в задачах расчёта оболочек.
17. Определение потенциальной и кинетической энергии оболочки.
18. Явление потери устойчивости в инженерных сооружениях.

19. Основные этапы развития теории устойчивости оболочек.
20. Современные представления о механизме потери устойчивости оболочки. Особенности поведения цилиндрической и сферической оболочки при потере устойчивости.
21. Принципы определения внутренних сил упругости при потере устойчивости оболочки.
22. Построение уравнений теории устойчивости оболочек.
23. Краевые условия в задачах устойчивости оболочек.
24. Перспективы развития теории оболочек.