

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕХАНИКА ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

Направление/специальность подготовки	15.03.03 Прикладная механика
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровой инжиниринг высокотехнологичных систем и процессов
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	И Робототехника и инновационная инженерия
Выпускающая кафедра	ИЗ Механика деформируемого твердого тела
Кафедра-разработчик рабочей программы	ИЗ Механика деформируемого твердого тела

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	5	3	108	34	17	17	0	74	0	0	74	зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

**15.03.03 Прикладная механика**

год набора группы: 2026

Программу составили:

Кафедра НЗ Механика деформируемого твердого тела  
Титух Игорь Николаевич, к.т.н., доцент, доцент

\_\_\_\_\_

Кафедра НЗ Механика деформируемого твердого тела  
Воронов Алексей Сергеевич, ассистент

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **НЗ Механика деформируемого твердого тела**

Заведующий кафедрой Крутова В.А., д.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**НЗ Механика деформируемого твердого тела**

Заведующий кафедрой Крутова В.А., д.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **МЕХАНИКА ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-11 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-11**

*знания:*

Гипотезы, модели и методы расчета тонкостенных элементов конструкций;

*умения:*

Применяет теоретические модели к конкретным конструкторским задачам;

*навыки:*

Владеет методами численного моделирования и инженерной оценки прочности и жесткости пластин и оболочек.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МЕХАНИКА ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ФИЗИКА, ЦИФРОВИЗАЦИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ 3-D МОДЕЛЕЙ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА МАШИН, КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ, ПРАКТИКУМ ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА МАШИН, ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ, УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
- ОПК-11 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии
- ОПК-6 — Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий
- ПК-9.1 — Способен применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач
- ПК-93 — Способен генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, абстрагироваться от стандартных моделей, перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ОПК-11
3	5	<b>Раздел 1. Безмоментная теория оболочек.</b> 1. Основные понятия и допущения. Срединная поверхность. Безмоментное состояние и краевой эффект. Осесимметричные оболочки при осесимметричных нагружениях; 2. Расчет цилиндрической, сферической и конической оболочек при постоянном давлении и гидростатическом давлении;.	33	8	4	4	25	33
3	5	<b>Раздел 2. Механика пластин.</b> 1. Основные гипотезы и уравнения. Расчетная схема пластины. Гипотезы Кирхгофа; 2. Вывод основных дифференциальных уравнений теории тонких пластин; 3. Плоское напряженное состояние. Исходные соотношения; 4. Изгиб прямоугольных пластин; 5. Изгиб круглых пластин;.	38	13	8	5	25	33
3	5	<b>Раздел 3. Изгиб оболочек.</b> 1. Понятие краевого эффекта и моментного состояния; 2. Уравнения общей теории оболочек. Основные определения. Исходные соотношения; 3. Моментная теория оболочек вращения.	37	13	5	8	24	34
<b>Всего за 5 семестр</b>			108	34	17	17	74	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	34	17	17	74	100

#### 3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Безмоментная теория оболочек.	Аналитический и конечно-элементный расчет тонкостенной оболочки по безмоментной теории	4
2	Раздел 2. Механика пластин.	Аналитический и конечно-элементный расчет прямоугольной пластины на прочность и жесткость	3
3		Аналитический и конечно-элементный расчет круглой пластины на прочность и жесткость	2
4	Раздел 3. Изгиб оболочек.	Расчеты цилиндрической, конической и сферической оболочек по моментной теории	8
<b>Всего за 5 семестр</b>			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Безмоментная теория оболочек.	Оформление отчета о лабораторной работе. Подготовка к защите	15
2		Изучение литературы по тематике дисциплины	10
3	Раздел 2. Механика пластин.	Изучение литературы по тематике дисциплины	10
4		Оформление отчета о лабораторных работах. Подготовка к защите	15
5	Раздел 3. Изгиб оболочек.	Оформление отчета о лабораторной работе. Подготовка к защите	15
6		Подготовка к зачету	9
Всего за 5 семестр			74

### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																17
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Вопр. Зач. зач.
					ЛР	ДР			ЛР	ДР			ЛР			ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. Г. Атапин. . Сопротивление материалов. Москва: Юрайт, 2022, эл. рес.
2. В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 129 экз.
3. В. И. Феодосьев. . Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <https://library.voenmeh.ru/jirbis2/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Mathcad Education - University Edition Term.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Лабораторные занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Проектор;
3. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
4. Mathcad Education - University Edition Term.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **МЕХАНИКА ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*. Дисциплина реализуется на факультете *Н Робототехника и инновационная инженерия* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *НЗ Механика деформируемого твердого тела*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ОПК-11 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с расчетом тонкостенных конструкций на прочность при действии статических нагрузок.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Безмоментная теория оболочек.		
Оформление отчета о лабораторной работе. Подготовка к защите	В. Г. Атапин. . Сопротивление материалов: Москва: Юрайт, 2022 (1-5) В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-2)	15
Изучение литературы по тематике дисциплины	В. И. Феодосьев. . Сопротивление материалов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018 (1-10)	10
Итого по разделу 1		25
Раздел 2. Механика пластин.		
Изучение литературы по тематике дисциплины	В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-3)	10
Оформление отчета о лабораторных работах. Подготовка к защите		15
Итого по разделу 2		25
Раздел 3. Изгиб оболочек.		
Оформление отчета о лабораторной работе. Подготовка к защите	В. И. Погорелов. . Строительная механика летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-3)	15
Подготовка к зачету		9
Итого по разделу 3		24

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к зачету;
- лабораторная работа;
- зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы к зачету

1. Понятие оболочки. Основные допущения при расчете по безмоментной теории;
2. Внутренние силы и моменты в оболочках по безмоментной теории;
3. Внутренние напряжения в оболочках по безмоментной теории;
4. Проектирование оболочек по безмоментной теории. Условие прочности и подбор толщины;
5. Понятие пластины. Гипотезы Кирхгофа;
6. Напряженно-деформированное состояние жестких пластин;
7. Физические, геометрические уравнения при расчете жестких пластин. Дифференциальные уравнения равновесия;
8. Вывод уравнения Софи-Жермен;
9. Дифференциальные уравнения механики жестких пластин в цилиндрической системе координат;
10. Уравнения изгиба круглых пластин при осесимметричной нагрузке. Решение для шарнирно-опертой пластины. Решение для защемленной пластины;
11. Условие прочности круглых пластин при действии постоянного давления. Подбор толщины;
12. Понятие краевого эффекта в оболочках. Моментное состояние;
13. Дифференциальные уравнения моментной теории для цилиндрических оболочек

#### Лабораторная работа

Тематика лабораторных работ - исследование напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек аналитическими и численными методами.

После выполнения лабораторной обучающиеся оформляют отчет о ЛР по ГОСТ 7.32-2017 и защищают его. Под защитой понимается устный ответ на вопросы преподавателя по процедуре выполнения работы.

#### Зачет

Зачет проходит в формате письменного ответа на вопросы. Каждому обучающемуся предлагается билет из 3-х вопросов.

Критерии оценивания:

Верные ответы на 2 и более вопроса - "Зачтено"

Верные ответы 1 вопрос - "Не зачтено"

В течении семестра действует балльно-рейтинговая система, в соответствии с которой по результатам работы в семестре обучающийся имеет право на получение оценки без сдачи Зачета. Критерии перевода баллов в оценку в соответствии с БРС:

Более 60 - "Зачтено"

Менее 60 - «Не зачтено»

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ОПК-11	
3	5	Раздел 1. Безмоментная теория оболочек.	33	8	4	4	25	33	Вопросы к зачету, Лабораторная работа
3	5	Раздел 2. Механика пластин.	38	13	8	5	25	33	Вопросы к зачету, Лабораторная работа
3	5	Раздел 3. Изгиб оболочек.	37	13	5	8	24	34	Вопросы к зачету, Лабораторная работа
Всего за 5 семестр			108	34	17	17	74	100	
Всего по дисциплине			108	34	17	17	74	100	

**ОПК-11 - Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Напряженное состояние, при котором в оболочке возникают только погонные нормальные и сдвиговые усилия, а изгибающие и крутящий моменты равны нулю называется...

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Сформулируйте три основные кинематические гипотезы Кирхгофа-Лява для тонких пластин при изгибе.

№ 3 Прочитайте текст и установите последовательность

**Расположите в правильной последовательности этапы вывода разрешающего уравнения для изгиба тонкой ортотропной пластины по теории Кирхгофа-Лява (методом перемещений):**

1. Подстановка закона Гука ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  через  $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ ) с учётом ортотропных модулей.
2. Выражение изгибающих и крутящего моментов через прогиб  $w(x,y)$  путём интегрирования напряжений по толщине.
3. Запись уравнений равновесия элемента пластины (поперечных сил, изгибающих и крутящего моментов).
4. Исключение поперечных сил  $Q_x, Q_y$  из уравнений равновесия, получение одного дифференциального уравнения относительно  $w$ .
5. Принятие гипотез Кирхгофа-Лява (линейное распределение деформаций по толщине,  $\epsilon_z = 0, \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$ ).

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между видом граничного условия для круглой пластины при осесимметричном изгибе ( $r = R$ ) и его математической записью ( $w$  — прогиб,  $\theta$  — угол поворота,  $M_r$  — радиальный изгибающий момент,  $Q_r$  — поперечная сила).

Граничное условие	Математическая запись
1. Жёсткая заделка	А. $M_r = 0, Q_r = 0$
2. Шарнирное опирание (свободное)	Б. $w = 0, \theta = 0$
3. Свободный край	В. $w = 0, M_r = 0$
4. Скользящая заделка (симметрия)	Г. $Q_r = 0, \theta = 0$

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между типом оболочечной системы и характером преобладающих усилий в её несущих элементах при действии равномерного внутреннего давления (без учёта краевых эффектов).

Тип оболочки	Характер усилий
1. Сферический купол	А. Преимущественно кольцевые растягивающие усилия ( $N_\theta$ ), меридиональные усилия малы

**Тип оболочки****Характер усилий**

2.

Цилиндрическая  
оболочка  
(крышка или  
стенка)Б. Осевые (меридиональные) сжимающие усилия, кольцевые  
растягивающие

3. Коническая

оболочка  
(расширяющаяся  
кверху)В. Равные мембранные усилия во всех направлениях ( $N = \text{const}$ )4. Тороидальная  
оболочка в зоне  
внутреннего  
углаГ. Возникают изгибные моменты и поперечные силы (краевой  
эффект) даже при гладкой нагрузке

№ 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какое из перечисленных уравнений является разрешающим уравнением изгиба изотропной тонкой пластины постоянной толщины в перемещениях (уравнение Софи Жермен — Лагранжа)?

А)  $\nabla^2 w = -\frac{p}{D}$

Б)  $\nabla^4 w = \frac{p}{D}$

В)  $\nabla^2 \nabla^2 w = -\frac{p}{D}$

Г)  $\nabla^4 w = 0$

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В мембранной теории оболочек (без моментной теории) для тонкой сферической оболочки под равномерным внутренним давлением  $p$  меридиональное усилие  $N$  равно:

А)  $\frac{pR}{2}$

Б)  $pR$

В)  $\frac{pR}{h}$

Г) 0

( $R$  — радиус сферы,  $h$  — толщина)

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

**Что представляет собой «краевой эффект» в цилиндрической оболочке при локальном нагружении края (например, изгибающим моментом)?**

А) Равномерное распределение напряжений по всей длине оболочки.

Б) Быстрозатухающее вглубь оболочки напряжённо-деформированное состояние с характерной длиной затухания порядка.

В) Появление пластических деформаций только у края.

Г) Полное отсутствие изгибных напряжений.

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

**Какие из перечисленных предположений используются в классической теории тонких оболочек (типа Кирхгофа-Лява для оболочек)?**

(Выберите все верные варианты)

1. Поперечные сдвиги отсутствуют ( $\gamma_{13} = \gamma_{23} = 0$ ).

2. Толщина оболочки пренебрежимо мала по сравнению с радиусами кривизны ( $h / R_{\min} \ll 1$ ).
3. Напряжения  $\sigma_z$  (поперечные нормальные) равны нулю во всех точках.
4. Деформации срединной поверхности линейно зависят от изменения кривизн.
5. Материал оболочки следует нелинейному закону Гука.

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

**Какие из перечисленных факторов обязательно учитываются в моментной теории оболочек, но отсутствуют в безмоментной (мембранной) теории?**

*(Выберите все верные варианты)*

1. Изгибающие моменты  $M_1, M_2$ .
2. Поперечные силы  $Q_1, Q_2$ .
3. Мембранные (погонные нормальные) усилия  $N_1, N_2$ .
4. Крутящие моменты  $H$ .
5. Удлинения срединной поверхности.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

**Потеря устойчивости (выпучивание) тонких упругих пластин при сжатии в своей плоскости характеризуется следующими признаками:**

*(Выберите все верные варианты)*

1. Критическая нагрузка зависит от модуля упругости  $E$  и коэффициента Пуассона  $\nu$ .
2. Критическая нагрузка прямо пропорциональна толщине пластины в первой степени ( $h^1$ ).
3. Форма потери устойчивости (количество полуволн) определяется граничными условиями и геометрическими размерами.
4. Для шарнирно опертой прямоугольной пластины критическое напряжение пропорционально  $(h/a)^2$ , где  $a$  — сторона пластины.
5. После потери устойчивости пластина способна воспринимать нагрузку, превышающую критическую (закритическое поведение).

№ 12 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите в порядке возрастания уровня напряжений (от минимальных к максимальным) в закреплённой по контуру круглой пластине толщиной  $h$  при равномерном поперечном давлении  $q$  (малые прогибы, классическая теория) в следующих точках и направлениях:

1. Нормальное радиальное напряжение  $\sigma_r$  на нижней поверхности в центре пластины ( $r = 0$ ).
2. Нормальное окружное напряжение  $\sigma_\theta$  на верхней поверхности у заделки ( $r = R$ ).
3. Нормальное радиальное напряжение  $\sigma_r$  на верхней поверхности у заделки ( $r = R$ ).
4. Нормальное окружное напряжение  $\sigma_\theta$  на нижней поверхности в центре пластины ( $r = 0$ ).