

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
Факультет кадастра и строительства  
Сысоев О.Е.

«23» 06 2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория расчета пластин и оболочек»

Специальность	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
Специализация	Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений
Квалификация выпускника	Специалист
Год начала подготовки (по учебному плану)	2020
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

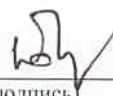
Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
4	7	3

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Зачет с оценкой	Кафедра «Строительство и архитектура»

Разработчик рабочей программы:

Доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», кандидат технических наук, доцент

(должность, степень, ученое звание)



(подпись)

Ю.Н.Чудинов

(ФИО)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы «Строительство уникальных зданий и сооружений»



(подпись)

Ю.Н.Чудинов

(ФИО)

Заведующий выпускающей кафедрой «Строительство и архитектура»



(подпись)

О.Е. Сысоев

(ФИО)

## 1 Введение

Рабочая программа и фонд оценочных средств дисциплины «Теория расчета пластин и оболочек» составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Минобрнауки Российской Федерации ФГОС ВО, утвержденный приказом Минобрнауки России от 31.05.2017 № 483, и основной профессиональной образовательной программы подготовки «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» по специальности «08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений».

Практическая подготовка реализуется на основе:

Профессиональный стандарт 10.003 «СПЕЦИАЛИСТ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

Обобщенная трудовая функция: В Разработка проектной продукции по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности.

ТД-4 Моделирование свойств элементов объекта и его взаимодействия с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности, НЗ-4 Методы, приемы и средства численного анализа, НЗ-5 Современные средства автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы, НУ-2 Находить, анализировать и исследовать информацию, необходимую для моделирования и расчетного анализа для инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности.

Задачи дисциплины	<ul style="list-style-type: none"><li>- приобретение навыков расчета элементов тонкостенных строительных конструкций, пластин и оболочек на прочность, жесткость, устойчивость, несущую способность;</li><li>- приобретение навыков моделирования свойств элементов объекта, и его взаимодействия с окружающей средой с соблюдением установленных требований для производства работ по инженерно-техническому проектированию;</li><li>- формирование системы знаний и навыков методов, приемов и средства численного анализа</li></ul>
Основные разделы / темы дисциплины	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Общая теория изгиба прямоугольных и круглых пластин.</li><li>2. Общая теория оболочек. Безмоментная теория.</li><li>3. Осесимметричные оболочки вращения. Метод разделения переменных.</li><li>4. Моментная теория цилиндрических оболочек.</li><li>5. Полубезмоментная теория цилиндрических оболочек.</li></ol>

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины «Теория расчета пластин и оболочек» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 1):

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>Общепрофессиональные</b>		
<p>ОПК-1 Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук</p>	<p>ОПК-1.1 Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин                      ОПК-1.2 Умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, протекающие на объекте профессиональной деятельности, решать инженерные задачи с помощью математического аппарата                      ОПК-1.3 Владеет навыками решения типовых инженерных задач на основе теоретических исследований, обработки расчетных и экспериментальных данных вероятностно-статистическими методами</p>	<p>Знание основных принципов, положений и гипотез теории пластин и оболочек; законов статики твердых тел;                      Знание практических методов расчета пластин и оболочек при действии различных внешних нагрузок; прочностных характеристик и свойств конструкционных материалов;                      Умение грамотно составлять расчетные схемы, использовать законы статики при составлении уравнений равновесия пластин и оболочек;                      Умение определять внутренние усилия, напряжения, деформации и перемещения; определять необходимые размеры из условий прочности, жесткости и устойчивости;                      Навыки определения напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек при различных воздействиях с помощью САПР-систем;                      Навыки выбора конструкционных материалов, обеспечивающих требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности и эффективности</p>

### 3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория расчета пластин и оболочек» изучается на 4 курсе, 7 семестре. Дисциплина входит в состав блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к базовой части.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения, навыки и / или опыт практической деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин / практик: «Химия», «Математика», «Физика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теоретическая механика», «Сопrotивление материалов», «Теплотехника», «Теория

упругости с основами пластичности и ползучести», «Механика грунтов», «Электротехника и электроснабжение», «Строительная механика», «Механика жидкости и газа».

Знания, умения и навыки, сформированные при изучении дисциплины «Теория расчета пластин и оболочек», будут востребованы при изучении последующих дисциплин: «Расчёт строительных конструкций методом конечных элементов», «Нелинейные задачи строительной механики», «Инженерно-геодезическое обеспечение строительства», «Динамика и устойчивость сооружений».

Дисциплина «Теория расчета пластин и оболочек» частично реализуется в форме практической подготовки.

Дисциплина «Теория расчета пластин и оболочек» в рамках воспитательной работы направлена на формирование у обучающихся активной гражданской позиции, уважения к правам и свободам человека, знания правовых основ и законов, воспитание чувства ответственности или умения аргументировать, самостоятельно мыслить, развивает творчество, профессиональные умения или творчески развитой личности, системы осознанных знаний, ответственности за выполнение учебно-производственных заданий и т.д.

#### **4 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 з.е., 108 акад. час.

Распределение объема дисциплины (модуля) по видам учебных занятий представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий

Объем дисциплины	Всего академических часов
Общая трудоемкость дисциплины	108
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий), всего</b>	36
<b>В том числе:</b>	
<b>занятия лекционного типа</b> (лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации педагогическими работниками), в том числе в форме практической подготовки:	24
<b>занятия семинарского типа</b> (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия), в том числе в форме практической подготовки:	12
<b>Самостоятельная работа обучающихся и контактная работа</b> , включающая групповые консультации, индивидуальную работу обучающихся с преподавателями (в том числе индивидуальные консультации); взаимодействие в электронной информационно-образовательной среде вуза	72
Промежуточная аттестация обучающихся – Зачет с оценкой	0

**5 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебной работы**

Таблица 3 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			СРС
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
<b>Раздел 1 Общая теория изгиба прямоугольных и круглых пластин</b>				
Основные понятия и гипотезы теории пластин. Перемещения и деформации в пластине при изгибе. Напряжения и усилия в сечениях пластины. Выражение внутренних усилий через прогиб. Уравнения равновесия элемента плоскости пластины. Уравнение Софи Жермен-Лагранжа. Граничные условия на контуре пластины. Основные уравнения изгиба круглых пластин.	6			18
Определение усилий в прямоугольной пластине. Занятие №1 «Расчет пластины методом Бубнова-Галеркина». Занятие №2 «Расчет пластины МКЭ с помощью ПК Лири-САПР»		3		
<b>Раздел 2 Общая теория оболочек. Безмоментная теория.</b>				
Геометрия пространственной кривой и поверхности. Параметры Ламе. Первая квадратичная форма поверхности. Вторая квадратичная форма поверхности. Кривизны нормального и наклонного сечений. Формула Менье. Главные кривизны и линии главных кривизн. Гауссова кривизна поверхности. Дифференцирование координатных ортов. Уравнение Кодацци-Гаусса. Гипотезы теории тонких оболочек. Перемещения и деформации срединной поверхности оболочки. Компоненты тангенциальной и изгибной деформации. Уравнение совместности деформаций срединной поверхности оболочки. Выражения перемещений и деформаций эквидистантной поверхности через перемещения и деформации срединной поверхности. Теория простого краевого эффекта для оболочки произвольной формы. Основные допущения по А.Л. Гольденвейзеру и упрощения основных уравнений. Разрешающие уравнения теории простого краевого эффекта	6			18
Определение усилий в шарнирно-опертой оболочке прямоугольной в плане. Занятие №1 «Расчет оболочки методом Бубнова-Галеркина». Занятие №2 «Расчет оболочки МКЭ с помощью ПК Лири-САПР»		3		
<b>Раздел 3 Осесимметричные оболочки вращения. Метод разделения переменных.</b>				
Безмоментная теория оболочек вращения. Основные уравнения безмоментной теории. Уравнения осесимметричного нагружения оболочек. Определения усилий, перемещений и деформаций. Оболочки, срединная поверхность которых представляет поверхность вращения второго порядка. Метод разделения переменных. Реше-	6			18

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			СРС
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
ние в тригонометрических рядах. Безмоментная теория цилиндрических оболочек.				
Определение усилий в шарнирно-опертой цилиндрической незамкнутой оболочке прямоугольной в плане. Занятие №1 «Расчет цилиндрической оболочки методом Бубнова-Галеркина». Занятие №2 «Расчет цилиндрической оболочки МКЭ с помощью ПК Лира-САПР»		3		
<b>Раздел 4 Моментная теория цилиндрических оболочек</b>				
Моментная теория цилиндрических оболочек. Уравнения моментной теории круговой цилиндрической оболочки. Расчет незамкнутых цилиндрических оболочек.	6			18
Расчет оболочки по моментной теории		3		
Нормирование ветровой нагрузки, как случайного процесса				
<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>24</b>	<b>12</b>		<b>72</b>
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет с оценкой</b>				

#### 6 Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

При планировании самостоятельной работы студенту рекомендуется руководствоваться следующим распределением часов на самостоятельную работу (таблица 4):

Таблица 4 – Рекомендуемое распределение часов на самостоятельную работу

Компоненты самостоятельной работы	Количество часов
Изучение теоретических разделов дисциплины	20
Подготовка к занятиям семинарского типа	20
Подготовка и оформление РГР	36
	72

#### 7 Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации представлен в Приложении 1.

Полный комплект контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), практике хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### 8.1 Основная литература

1. Агапов В.П. Теория расчета пластин [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.П. Агапов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. — 72 с. — 978-5-7264-1375-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58216.html>

2. Горшков А.А. Основы теории упругих тонких оболочек [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Горшков, А.Я. Астахова, Н.Ю. Цыбин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. — 231 с. — 978-5-7264-1315-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49872.html>

3. Каюмов Р.А. Конспект лекций «Основы теории упругости и элементы теории пластин и оболочек» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Р.А. Каюмов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 80 с. — 978-5-7829-0486-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73314.html>

4. Ананьева Н.К. Проектирование железобетонных пологих оболочек покрытий положительной гауссовой кривизны [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.К. Ананьева, В.Н. Околичный. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 92 с. — 987-5-93057-648-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/75078.html>

### 8.2 Дополнительная литература

1. «Компьютерное моделирование в задачах строительной механики» Издатель: [Издательство АСВ](#) Автор: Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. ISBN: 978-5-4323-0188-8 Кол-во страниц: 338 Год издания: 2016 5. Теория расчета пластин и оболочек промышленных предприятий и городов : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. - М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2018. - 416 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/953158.html>

2. Лебедев А.В. Численные методы расчета строительных конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 55 с. — 978-5-9227-0338-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19055.html>

3. Теория расчета пластин и оболочек [Электронный ресурс] : методические указания / . — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 24 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/74353.html>

### 8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. «Кодекс»: Сайт компании профессиональных справочных систем. Система Нормативно-Технической Информации «Кодекстехэксперт». Режим доступа (<http://www.cntd.ru>), свободный

2. КонсультантПлюс : Справочно-правовая система /Сайт компании справочной правовой системы «КонсультантПлюс». Режим доступа свободный.

3. Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM. Режим доступа ([www.znanium.com](http://www.znanium.com)), ограниченный.



4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. Электронный портал научной литературы. Режим доступа ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)).

5. Электронно-библиотечная система «IPRbooks». Электронный портал. Режим доступа (<http://www.iprbookshop.ru>).

6. «Лира-Сапр»: Сайт компании разработчика САПР для строительства ООО «Ли-ра-САПР». База знаний. Режим доступа свободный. <https://help.liraland.ru/>

7. Материалы вебинара «Проектирование строительных конструкций с применением программ семейства ЛИРА-САПР 2015», 29 мая 2015 г. Организаторы – КНАГТУ (Комсомольск-на-Амуре) и ООО «Ли-ра-САПР» (Киев), часть 1:  
<https://www.youtube.com/watch?v=7qj1K0RA-No>

8. Материалы вебинара «Проектирование строительных конструкций с применением программ семейства ЛИРА-САПР 2015», 29 мая 2015 г. Организаторы – КНАГТУ (Комсомольск-на-Амуре) и ООО «Ли-ра-САПР» (Киев), часть 2:  
<https://www.youtube.com/watch?v=RRvpsxgvZsQ>

#### **8.4. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Таблица 5 – Перечень используемого программного обеспечения

Наименование ПО	Реквизиты / условия использования
Microsoft Imagine Premium	Лицензионный договор АЭ223 №008/65 от 11.01.2019
OpenOffice	Свободная лицензия, условия использования по ссылке: <a href="https://www.openoffice.org/license.html">https://www.openoffice.org/license.html</a>
Программный комплекс ЛИРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, ЭСПРИ, САПФИР (Студенческий комплект программ-4)	Сублицензионный договор № 1295/А от 10.01.2012 Сублицензионный договор ЕП44/65 от 01.11.2016, лицензионные ключи
Mathcad Education	Договор № 106-АЭ120 от 27.11.2012
NanoCAD (САПР системы)	Соглашение о сотрудничестве без № от 12.04.2013

### **9 Организационно-педагогические условия**

Организация образовательного процесса регламентируется учебным планом иписанием учебных занятий. Язык обучения (преподавания) - русский. Для всех видов аудиторных занятий академический час устанавливается продолжительностью 45 минут.

При формировании своей индивидуальной образовательной траектории обучающийся имеет право на перезачет соответствующих дисциплин и профессиональных модулей, освоенных в процессе предшествующего обучения, который освобождает обучающегося от необходимости их повторного освоения.

#### **9.1 Образовательные технологии**

Учебный процесс при преподавании курса основывается на использовании традиционных, инновационных и информационных образовательных технологий. Традиционные образовательные технологии представлены лекциями и семинарскими (практически-ми) занятиями. Инновационные образовательные технологии используются в виде широкого применения активных и интерактивных форм проведения занятий. Информационные образовательные технологии реализуются путем активизации самостоятельной работы студентов в информационной образовательной среде.

## **9.2 Занятия лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов учебного плана.

На первой лекции лектор обязан предупредить студентов, применительно к какому базовому учебнику (учебникам, учебным пособиям) будет прочитан курс.

Лекционный курс должен давать наибольший объем информации и обеспечивать более глубокое понимание учебных вопросов при значительно меньшей затрате времени, чем это требуется большинству студентов на самостоятельное изучение материала.

## **9.3 Занятия семинарского типа**

Семинарские занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы.

Основной формой проведения семинаров является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях. В обязанности преподавателя входят: оказание методической помощи и консультирование студентов по соответствующим темам курса.

Активность на семинарских занятиях оценивается по следующим критериям:

- ответы на вопросы, предлагаемые преподавателем;
- участие в дискуссиях;
- выполнение проектных и иных заданий;
- ассистирование преподавателю в проведении занятий.

Ответ должен быть аргументированным, развернутым, не односложным, содержать ссылки на источники.

Доклады и оппонирование докладов проверяют степень владения теоретическим материалом, а также корректность и строгость рассуждений.

Оценивание заданий, выполненных на семинарском занятии, входит в накопленную оценку.

## **9.4 Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную и справочную документацию, специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности студентов, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, творческой инициативы, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений и академических навыков.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, уровня сложности, конкретной тематики.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов университета.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Студенты должны подходить к самостоятельной работе как к наиболее важному средству закрепления и развития теоретических знаний, выработке единства взглядов на отдельные вопросы курса, приобретения определенных навыков и использования профессиональной литературы.

## 9.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- просматривать основные определения и факты;
- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;
- самостоятельно выполнять задания, аналогичные предлагаемым на занятиях;
- использовать для самопроверки материалы фонда оценочных средств.

## 10 Описание материально-технического обеспечения, необходимого для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

### 10.1 Учебно-лабораторное оборудование

Таблица 6 – Перечень оборудования лаборатории

Аудитория	Наименование аудитории (лаборатории)	Используемое оборудование
423/3	Лаборатория кафедры САПР	13 Персональных ЭВМ (intel Core i3 2100, 4ГБ ОЗУ, 1ГБ Видео), лицензионное программное обеспечение (MathCAD, NanoCAD СПДС, NanoCAD Металлоконструкции, Лира-САПР, САПФИР, Мономах, ЭСПРИ,); Персональный ЭВМ преподавателя; Мультимедийный проектора;

### 10.2 Технические и электронные средства обучения

#### Практические занятия .

Для практических занятий используется аудитория №\_423/3, оснащенная оборудованием, указанным в табл. 8:

### **Самостоятельная работа.**

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде КнАГУ:

- читальный зал НТБ КнАГУ;
- компьютерные классы (ауд. 325 корпус № 3).

## **11 Иные сведения**

### **Методические рекомендации по обучению лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ****по дисциплине****«Теория расчета пластин и оболочек»**

Специальность	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
Специализация	Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений
Квалификация выпускника	Специалист
Год начала подготовки (по учебному плану)	2020
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
4	7	3

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Зачет с оценкой	Кафедра «Строительство и архитектура»

## 1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>Общепрофессиональные</b>		
<p>ОПК-1 Способен решать прикладные задачи строительной отрасли, используя теорию и методы фундаментальных наук</p>	<p>ОПК-1.1 Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин                      ОПК-1.2 Умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, протекающие на объекте профессиональной деятельности, решать инженерные задачи с помощью математического аппарата                      ОПК-1.3 Владеет навыками решения типовых инженерных задач на основе теоретических исследований, обработки расчетных и экспериментальных данных вероятностно-статистическими методами</p>	<p>Знание основных принципов, положений и гипотез теории пластин и оболочек; законов статики твердых тел;                      Знание практических методов расчета пластин и оболочек при действии различных внешних нагрузок; прочностных характеристик и свойств конструкционных материалов;                      Умение грамотно составлять расчетные схемы, использовать законы статики при составлении уравнений равновесия пластин и оболочек;                      Умение определять внутренние усилия, напряжения, деформации и перемещения; определять необходимые размеры из условий прочности, жесткости и устойчивости;                      Навыки определения напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек при различных воздействиях с помощью САПР-систем;                      Навыки выбора конструкционных материалов, обеспечивающих требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности и эффективности</p>

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
1. Общая теория изгиба прямоугольных и круглых пластин. Безмоментная теория.	ОПК-1	Коллоквиум	Демонстрирует теоретические знания основных принципов, положений и гипотез теории изгиба упругих тонких пластин, методы расчета прямоугольных и круглых пластин с различными условиями опирания при действии сосредоточенных и распределенных нагрузок
2. Общая теория оболочек.	ОПК-1	Практические задания	Демонстрирует знание основных принципов, положений и гипотез теории упругих тонких оболочек, практических методов расчета оболочек при действии различных внешних нагрузок
3. Осесимметричные оболочки вращения. Метод разделения переменных.	ОПК-1	Практические задания	Демонстрирует знание основных принципов, положений и гипотез теории осесимметричных оболочек вращения, навыков применения
4. Моментная теория цилиндрических оболочек.	ОПК-1	Практические задания	Демонстрирует знание основных принципов, положений и гипотез полубезмоментной теории цилиндрических оболочек
	ОПК-1	РГР «Расчет пластинки на изгиб методом Бубнова–Галеркина»	Демонстрирует навыки и умения расчетов тонких пластинок аналитическими методами
Промежуточная аттестация	ОПК-1	Теоретические вопросы, Практические задания	Демонстрирует теоретические знания по теории пластин и оболочек, и навыки расчета пластин и оболочек на прочность, жесткость и устойчивость

**2 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций**

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<b>7 семестр</b> <b>Промежуточная аттестация в форме «Зачет с оценкой»</b>			
<b>ИТОГО:</b>		0 баллов	
<p><b>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</b>  0 – 64 % от максимально возможной суммы баллов – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень для промежуточной аттестации по дисциплине);  65 – 74 % от максимально возможной суммы баллов – «удовлетворительно» (пороговый (минимальный) уровень);  75 – 84 % от максимально возможной суммы баллов – «хорошо» (средний уровень);  85 – 100 % от максимально возможной суммы баллов – «отлично» (высокий (максимальный) уровень)</p>			

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<b>7 семестр</b> <b>Промежуточная аттестация в форме «Зачет с оценкой»</b>				
1	Выполнение и защита практических заданий	8 неделя	10 баллов	<p>10 баллов – студент показал отличные знания и кругозор при ответах на вопросы, показал отличное умение логически строить ответ, отлично владел монологической речью.</p> <p>8 балла – студент показал хорошие знания и кругозор при ответах на вопросы, показал хорошее умение логически строить ответ, хорошо владел монологической речью.</p> <p>6 балла – студент показал удовлетворительные знания и кругозор при ответах на вопросы, удовлетворительно показал умение логически строить ответ, удовлетворительно владел монологической речью.</p> <p>4 балла - студент показал неудовлетворительные знания и кругозор при ответах на вопросы, неудовлетворительно логически строил ответ, неудовлетворительно владел монологической речью.</p> <p>0 баллов – студент не отвечал на поставленные вопросы, не мог логически строить ответ.</p>
2	Выполнение и защита практических	12 неделя	10 баллов	<p>10 баллов - 91-100% правильных ответов – высокий уровень знаний, умений и навыков;</p> <p>6 баллов - 71-90% % правильных ответов – достаточно высокий уровень знаний, умений и навыков;</p> <p>4 баллов - 61-70% правильных ответов – средний уровень знаний, умений и навыков;</p> <p>2 балла - 51-60% правильных ответов – низкий уровень знаний, умений и навыков;</p> <p>0 баллов - 0-50% правильных ответов – очень низкий уровень знаний, умений и навыков;</p>
3	Расчетно-графическая работа	В течение семестра	30 баллов	<p>40 баллов - Студент полностью выполнил задание, показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала, контрольная работа оформлена аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.</p> <p>30 баллов - Студент полностью выполнил задание,</p>



	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
				<p>показал хорошие умения навыки в рамках усвоенного учебного материала, но не смог обосновать оптимальность предложенного решения, допущены одна или две неточности, есть недостатки в оформлении.</p> <p>20 баллов - Студент полностью выполнил задание, но допустил существенные неточности и грубые ошибки, не проявил умения правильно интерпретировать полученные результаты, качество оформления имеет недостаточный уровень.</p> <p>0 баллов - Студент не полностью выполнил задание, при этом проявил недостаточный уровень умений и навыков, а также не способен пояснить полученный результат.</p>
	ИТОГО:	-	50 баллов	-
<b>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</b> Пороговый (минимальный) уровень для аттестации в форме зачета – 75 % от максимально возможной суммы баллов				
<b>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</b> 0 – 64 % от максимально возможной суммы баллов – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень для промежуточной аттестации по дисциплине); 65 – 74 % от максимально возможной суммы баллов – «удовлетворительно» (пороговый (минимальный) уровень); 75 – 84 % от максимально возможной суммы баллов – «хорошо» (средний уровень); 85 – 100 % от максимально возможной суммы баллов – «отлично» (высокий (максимальный) уровень)				

### Типовые задания для текущего контроля

#### Коллоквиум

**Тема 1. «Общая теория изгиба прямоугольных и круглых пластин»** 1. Гипотезы теории тонких пластин и оболочек.

2. Принцип построения теории изгиба тонких прямоугольных и круглых пластин.
3. Соотношения для определения перемещений, деформаций, напряжений и усилий с помощью функции прогибов.
4. Эпюры нормальных и касательных напряжений в поперечных сечениях прямоугольных и круглых пластин.
5. Положительные направления внутренних усилий на кромках прямоугольных и круглых пластин.
6. Постановка граничных условий на кромках прямоугольных и круглых пластин.
7. Дифференциальное уравнение изгиба тонких прямоугольных и круглых пластин Софи Жермен.
8. Способы определения внутренних усилий с помощью двойных и одинарных тригонометрических рядов при действии распределенных и сосредоточенных нагрузок.
9. Условия прочности и жесткости прямоугольных и круглых пластин.
10. Принципы расчета на устойчивость прямоугольных пластин

#### Тема 2. «Общая теория оболочек. Безмоментная теория».

##### Практические задания.

1. Выполнить статический расчет шарнирно-опертой цилиндрической незамкнутой оболочки прямоугольной в плане оболочки методом Бубнова-Галеркина.
2. Выполнить статический расчет шарнирно-опертой цилиндрической незамкнутой оболочки прямоугольной в плане оболочки МКЭ с помощью ПК Лиры-САПР

### Тема 3. «Осесимметричные оболочки вращения. Метод разделения переменных».

#### Практические задания.

1. Выполнить статический расчет цилиндрического резервуара методом разделения переменных.
2. Выполнить статический расчет цилиндрического резервуара МКЭ с помощью ПК Лира-САПР.

### Тема 4. «Моментная теория цилиндрических оболочек»

#### Практические задания.

1. Определить усилия в цилиндрическом резервуаре методом Бубнова-Галеркина.
2. Определить усилия в стальном цилиндрическом резервуаре МКЭ с помощью ПК Лира-САПР

#### Задание для выполнения расчетно-графической работы «Расчет пластинки на изгиб методом Бубнова–Галеркина»

Расчетная схема принимается согласно последней цифре шифра. Исходные данные для решения задачи принимаются студентом из таблицы приложения в соответствии с предпоследней цифрой шифра.

Условие задачи

1. Проверить выполнение граничных условий, показанных на схеме при заданной аппроксимирующей функции.
2. Методом Бубнова–Галеркина определить величину параметра «С» при действии на пластину сосредоточенных нагрузок (по схеме) и равномерно распределенной нагрузки от собственного веса.

3. Определить величины  $M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y$ . Построить эпюры прогибов и внутренних усилий по характерным сечениям, параллельным сторонам пластины.

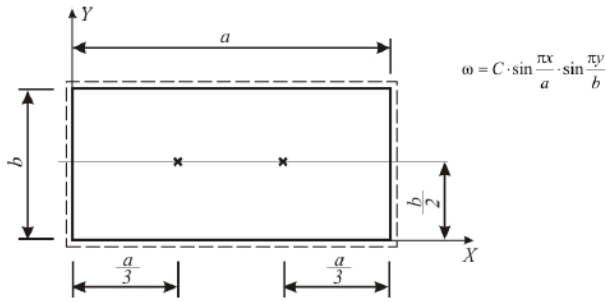
4. Для опасных точек определить нормальные и касательные напряжения. Построить эпюры напряжений по толщине пластины

Таблица 7 – Варианты заданий для РГР

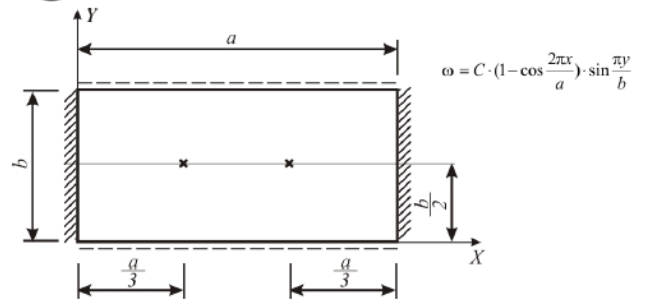
Предпоследняя цифра шифра	$h$ (м)	$a$ (м)	$b$ (м)	$F$ (кН)	Предпоследняя цифра шифра	$h$ (м)	$a$ (м)	$b$ (м)	$F$ (кН)
$E = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $\nu = 0,16, \gamma = 20 \text{ кН/куб.м}$					$E = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $\nu = 0,18, \gamma = 30 \text{ кН/куб.м}$				
1	0,10	2	2	6	6	0,20	2,1	2,1	12
2	0,12	1,3	1,3	7	7	0,22	1,4	1,4	14
3	0,14	1,5	1,5	8	8	0,24	1,6	1,6	16
4	0,16	1,8	1,8	9	9	0,11	1,7	1,7	11
5	0,18	2,2	2,2	10	0	0,13	1,5	1,5	13

Рисунок 1. Расчетные схемы пластинок

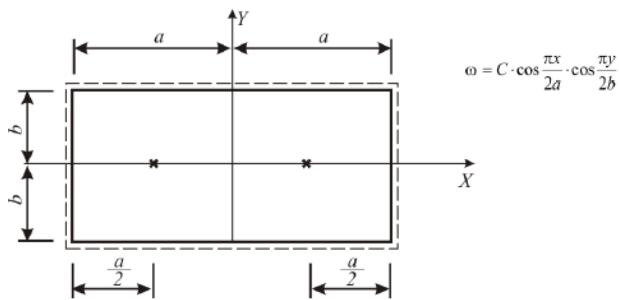
1



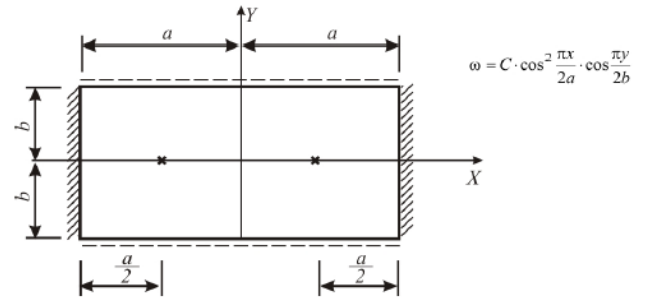
3



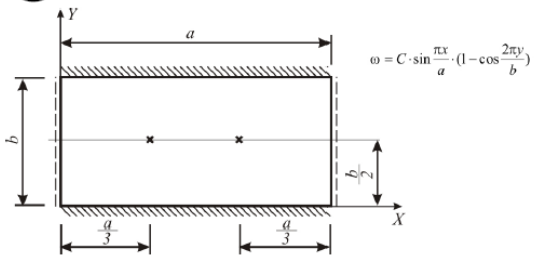
2



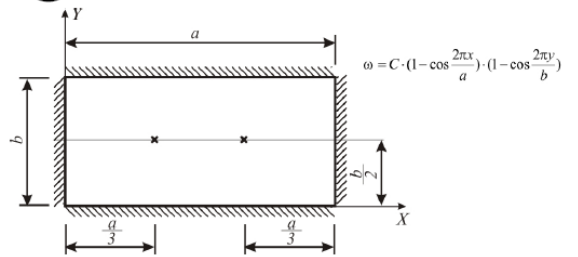
4



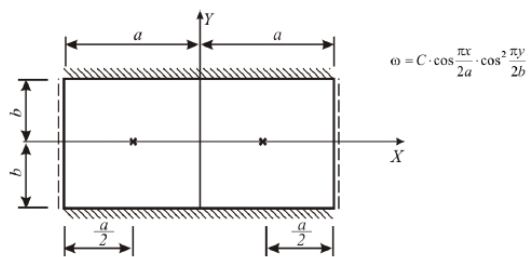
5



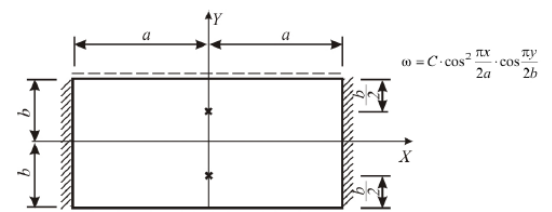
7



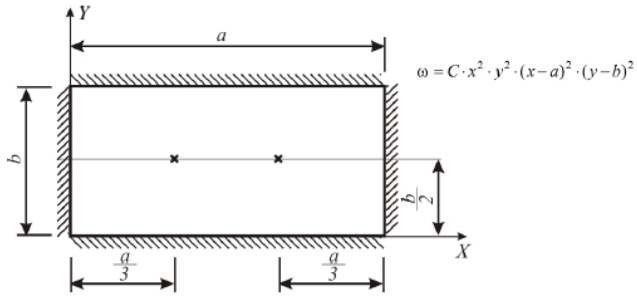
6



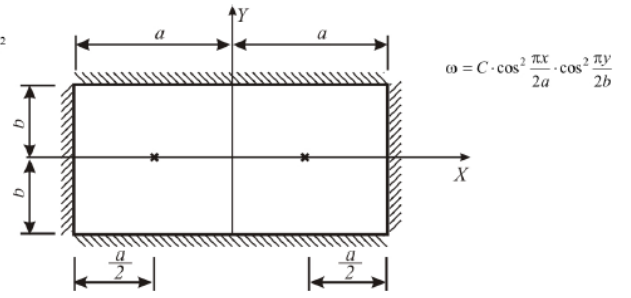
8



9



10



## Контрольные вопросы к коллоквиуму

1. Геометрия пространственной кривой. Параметрические и векторное уравнение кривой.
2. Геометрия поверхности. Криволинейные гауссовы координаты. Векторное уравнение поверхности.
3. Параметры Ламе. Первая квадратичная форма поверхности. Коэффициенты первой квадратичной формы. Вторая квадратичная форма. Коэффициенты второй квадратичной формы.
3. Основные гипотезы теории тонких оболочек.
4. Перемещения и деформации срединной поверхности оболочки. Уравнение деформированной срединной поверхности. Уравнения совместности деформаций срединной поверхности.
5. Напряжения и усилия в сечениях оболочки. Выражение усилий через напряжения.
6. Дифференциальные уравнения равновесия. Граничные условия на контуре оболочки.
7. Теория простого краевого эффекта. Основные допущения. Разрешающие уравнения теории простого краевого эффекта.
8. Безмоментная теория оболочек вращения. Основные уравнения.
9. Уравнения осесимметрично нагруженных оболочек. Определение усилий и перемещений.
10. Расчет замкнутых оболочек на действие равномерного внутреннего давления.
11. Несимметрично нагруженные оболочки вращения. Метод разделения переменных.
12. Безмоментная теория цилиндрических оболочек. Граничные условия на торцах замкнутой цилиндрической оболочки.
13. Уравнения моментной теории круговой цилиндрической оболочки. Метод разделения переменных (решение в рядах Фурье)
14. Полубезмоментная теория цилиндрических оболочек. Основные гипотезы и определения.
15. Уравнения общей моментной теории оболочек вращения.
16. Уравнения осесимметричной деформации оболочек вращения.
17. Осесимметричный изгиб цилиндрической оболочки. Расчет длинных цилиндрических оболочек.
18. Перемещения краев цилиндрической оболочки от краевых воздействий.
19. Преобразование уравнений осесимметричной деформации оболочек вращения. Уравнения Мейснера.
20. Краевой эффект в непологих оболочках вращения.

### Тестовые вопросы для «входного» контроля знаний обучающихся по дисциплине «Теория расчета пластин и оболочек»

1. Напряженное состояние в окрестности произвольной точки. Обозначения компонентов напряжений в декартовой системе координат.
2. Дифференциальные уравнения равновесия.
3. Перемещения и деформации.
4. Геометрические соотношения Коши.
5. Уравнения неразрывности деформаций и их физический смысл.
6. Обобщенный закон Гука.
7. Постановка пространственной задачи теории упругости в перемещениях.
8. Постановка пространственной задачи теории упругости в напряжениях.
9. Граничные условия на поверхности тела. Интегральные граничные условия.
10. Удельная потенциальная энергия деформации, энергия изменения объема и формы.
11. Плоское напряженное состояние в декартовой системе координат.
12. Основные уравнения для плоской деформации и плоского обобщенного напряженного состояния.
13. Постановка плоской задачи теории упругости. Уравнение Мориса-Леви.
14. Функция напряжений Эри. Бигармоническое уравнение.
15. Решение плоской задачи с помощью степенных многочленов (полиномов).

Пример выполнения РГР по дисциплине «Теория расчета пластин и оболочек»

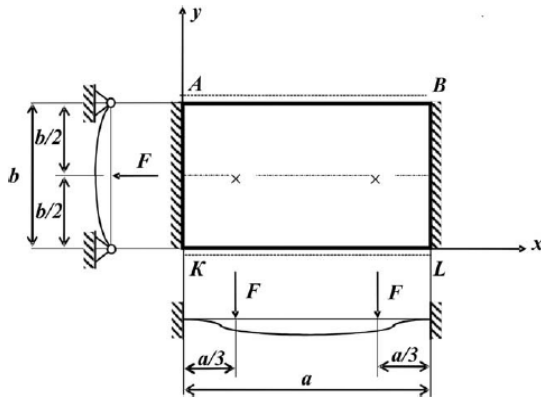


Рис. 1. Схема нагружения пластинки

Схема нагружения пластинки представлена на рис. 1.

Числовые данные для расчета пластинки:

$$a = 4 \text{ м}; b = 4 \text{ м}; h = 0,2 \text{ м}; F = 10 \text{ кН}; A = 1 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\nu = 0,25; \gamma = 70 \text{ кН/м}^3.$$

Собственный вес пластинки, приходящийся на  $1 \text{ м}^2$  поверхности, равен

$$q = \gamma \cdot h = 70 \cdot 0,2 = 14 \text{ кПа}.$$

Функция прогибов задана в виде

$$\omega(x, y) = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b}.$$

Граничные условия на контуре пластинки показаны на схеме следующие:

для грани  $AK (x = 0)$ :

$$\omega(x, y) \Big|_{AK} = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi \cdot 0}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b} = C(1 - 1) \sin \frac{\pi y}{b} = 0.$$

Таким образом, на контуре пластинки прогибы равны нулю, поэтому кромки пластинки либо зашлемлены, либо шарнирно оперты.

Первые производные заданной базисной функции имеют вид:

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} = \frac{2\pi}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{\pi}{b} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \cos \frac{\pi y}{b}.$$

При  $x = 0$  (грань  $AK$ ):

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} = C \frac{2\pi}{a} \sin \frac{2\pi \cdot 0}{a} \sin \frac{\pi y}{b} = 0.$$

При  $x = a$  (грань  $BL$ ):

$$\frac{\partial \omega}{\partial x} = C \frac{2\pi}{a} \sin \frac{2\pi \cdot a}{a} \sin \frac{\pi y}{b} = 0,$$

то есть углы поворота на гранях, параллельных оси  $y$ , между касательной к срединной поверхности и осью  $x$  равны нулю. Это означает, что грани  $AK$  и  $BL$  зашлемлены.

Вторая производная по переменной  $x$  от заданной базисной функции имеет вид

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}.$$

$$1) \text{ при } x = 0 \text{ (грань } AK) - \text{ зашлемление: } \omega = 0, \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0;$$

$$2) \text{ при } x = a \text{ (грань } BL) - \text{ зашлемление: } \omega = 0, \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0;$$

$$3) \text{ при } y = 0 \text{ (грань } KL) - \text{ шарнирное опирание: } \omega = 0, \dot{I}_y = 0;$$

$$4) \text{ при } y = b \text{ (грань } AB) - \text{ шарнирное опирание: } \omega = 0, \dot{I}_y = 0.$$

При  $y = 0$  и  $y = b$  (грани  $KL$  и  $AB$ ) пластинка шарнирно закреплена. Здесь статическое граничное условие имеет вид:

$$\dot{I}_y = -D \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) = 0.$$

Поскольку в направлении оси  $x$  опертая кромка пластинки прогиба не имеет, то из граничного условия  $M_y = 0$ ,

$$\text{получаем } \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = 0.$$

Производим проверку выполнения граничных условий.

Подставляя уравнения гранией пластинки в заданную функцию прогибов  $\omega(x, y)$ , убеждаемся, что для всех граней  $\omega(x, y) = 0$ ;

для грани  $AB (y = b)$ :

$$\omega(x, y) \Big|_{AB} = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi b}{b} = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \pi = 0;$$

для грани  $BL (x = a)$ :

$$\omega(x, y) \Big|_{BL} = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi a}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b} = C(1 - 1) \sin \frac{\pi y}{b} = 0;$$

для грани  $KL (y = 0)$ :

$$\omega(x, y) \Big|_{KL} = C \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi \cdot 0}{b} = 0;$$

Вторая производная по переменной  $y$  от заданной базисной функции имеет вид

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = - \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b}.$$

При  $y = 0$  (грань  $KL$ ):

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = -C \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi \cdot 0}{b} = 0.$$

При  $y = b$  (грань  $AB$ ):

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = -C \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi \cdot b}{b} = 0,$$

то есть грани пластинки  $AB$  и  $KL$  шарнирно оперты.

Таким образом, заданная функция прогибов удовлетворяет всем граничным условиям на контуре пластинки.

Для определения постоянного параметра  $C$  находим четвертые производные от базисной функции:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} = - \left( \frac{2\pi}{a} \right)^4 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \left( \frac{\pi}{b} \right)^4 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} = - \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}.$$

Определим величину  $\Delta$  (4):

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{1 \cdot 10^8 (0,2)^3}{12(1-0,25^2)} = 0,711 \cdot 10^5;$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^k \frac{F_j}{D} \varphi(x_{F_j}, y_{F_j}) &= \frac{F}{D} \left( \varphi\left(\frac{a}{3}, \frac{b}{2}\right) + \varphi\left(\frac{2a}{3}, \frac{b}{2}\right) \right) = \\ &= \frac{F}{D} \left( \left(1 - \cos \frac{2\pi}{a} \cdot \frac{a}{3}\right) \sin \frac{\pi \cdot b}{b \cdot 2} + \left(1 - \cos \frac{2\pi \cdot 2a}{a \cdot 3}\right) \sin \frac{\pi \cdot b}{b \cdot 2} \right) = \\ &= \frac{F}{D} \left( \left(1 - \cos \frac{2\pi}{3}\right) \sin \frac{\pi}{2} + \left(1 - \cos \frac{4\pi}{3}\right) \sin \frac{\pi}{2} \right) = \\ &= \frac{F}{D} \left( 1 - \cos \frac{2\pi}{3} + 1 - \cos \frac{4\pi}{3} \right) = \frac{F}{D} \left( 2 - \cos\left(\pi - \frac{\pi}{3}\right) - \cos\left(\pi + \frac{\pi}{3}\right) \right) = \\ &= \frac{F}{D} \left( 2 + 2 \cos \frac{\pi}{3} \right) = \frac{3F}{D}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \iint \varphi dx dy &= \int_0^a \int_0^b \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{a}\right) \sin \frac{\pi y}{b} dx dy = \\ &= \int_0^a \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{a}\right) dx \int_0^b \sin \frac{\pi y}{b} dy. \end{aligned}$$

По таблице интегралов находим

$$\begin{aligned} \int_0^a \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{a}\right) dx &= \left( x - \frac{a}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{a} \right) \Big|_0^a, \\ \int_0^b \sin \frac{\pi y}{b} dy &= -\frac{b}{\pi} \cos \frac{\pi y}{b} \Big|_0^b = \frac{2b}{\pi}. \end{aligned}$$

При заданных значениях  $a$  и  $b$  получаем

$$\Delta = \frac{q}{D} a \frac{2b}{\pi} + \frac{3F}{D} = \frac{14}{0,711 \cdot 10^5} 4 \frac{2 \cdot 4}{3,14} + \frac{3 \cdot 10}{0,711 \cdot 10^5} = 2,43 \cdot 10^{-3} \left( \frac{1}{i} \right).$$

Определим величину  $\delta$  (5):

Таким образом, функция прогибов срединной поверхности пластинки имеет вид

$$\omega(x, y) = 0,059 \cdot 10^{-3} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{a}\right) \sin \frac{\pi y}{b}.$$

Запишем выражения для внутренних усилий. Изгибающий момент в плоскости, перпендикулярной оси  $y$ :

$$\begin{aligned} \dot{I}_x &= -D \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) = -DC \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) = \\ &= -DC \left( \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} - \nu \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b} \right) = \\ &= -11,011 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} + 0,648 \sin \frac{\pi y}{b}. \end{aligned}$$

Изгибающий момент в плоскости, перпендикулярной оси  $x$ :

$$\begin{aligned} \dot{I}_y &= -D \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) = -DC \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right) = \\ &= -DC \left( -\left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin \frac{\pi y}{b} + \nu \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \right) = \\ &= 2,591 \sin \frac{\pi y}{b} - 5,182 \cos \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}. \end{aligned}$$

Крутящий момент

$$\begin{aligned} \dot{I}_{xy} &= -D(1-\nu) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} = -D(1-\nu) C \frac{2\pi}{a} \frac{\pi}{b} \sin \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} = \\ &= -3,886 \sin \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b}. \end{aligned}$$

Поперечная сила в плоскости, перпендикулярной оси  $y$ :

$$\delta = \int_0^a \int_0^b \left[ -\left( \frac{2\pi}{a} \right)^4 \cos \frac{2\pi x}{a} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin^2 \frac{\pi y}{b} + 2(1-\nu) \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{a} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \sin^2 \frac{\pi y}{b} + \left( \frac{\pi}{b} \right)^4 \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right)^2 \sin^2 \frac{\pi y}{b} \right] dx dy.$$

По таблице интегралов находим

$$\int_0^b \sin^2 \frac{\pi y}{b} dy = \frac{b}{\pi} \left[ \frac{\pi y}{2b} - \frac{1}{4} \sin \frac{2\pi y}{b} \right] \Big|_0^b = \frac{b}{2};$$

$$\int_0^a \cos \frac{2\pi x}{a} dx = \frac{a}{2\pi} \sin \frac{2\pi x}{a} \Big|_0^a = 0;$$

$$\int_0^a \cos^2 \frac{2\pi x}{a} dx = \frac{a}{2\pi} \left[ \frac{2\pi x}{2a} + \frac{1}{4} \sin \frac{4\pi x}{a} \right] \Big|_0^a = \frac{a}{2}.$$

После приведения подобных получаем

$$\begin{aligned} \delta &= \left( \frac{2\pi}{a} \right)^4 \frac{a b}{2 \cdot 2} + 2 \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \frac{a b}{2 \cdot 2} + \left( \frac{\pi}{b} \right)^4 \left( a + \frac{a}{2} \right) \frac{b}{2} = \\ &= \frac{\pi^4 a b}{4} \left( \left( \frac{2}{a} \right)^4 + 2 \left( \frac{2}{a} \right)^2 \left( \frac{1}{b} \right)^2 + 3 \left( \frac{1}{b} \right)^4 \right); \end{aligned}$$

При заданных значениях  $a$  и  $b$  получаем

$$\delta = 4\pi^4 \left( \left( \frac{1}{2} \right)^4 + 2 \left( \frac{1}{2} \right)^2 \left( \frac{1}{4} \right)^2 + 3 \left( \frac{1}{4} \right)^4 \right) = 41,094$$

Находим значение параметра  $C$  (3):

$$C = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{2,43 \cdot 10^{-3}}{41,094} = 0,059 \cdot 10^{-3} (\text{м}).$$

$$\begin{aligned} Q_x &= -D \left( \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \omega}{\partial x \partial y^2} \right) = -DC \left( -\left( \frac{2\pi}{a} \right)^3 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} - \right. \\ &\left. - \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \frac{2\pi}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \right) = 20,348 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}. \end{aligned}$$

Поперечная сила в плоскости, перпендикулярной оси  $x$ :

$$\begin{aligned} Q_y &= -D \left( \frac{\partial^3 \omega}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^2 \partial y} \right) = -DC \left( \frac{\partial^3 \varphi}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial y} \right) = -DC \left( -\left( \frac{\pi}{b} \right)^3 \times \right. \\ &\left. \times \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right) \cos \frac{\pi y}{b} + \left( \frac{2\pi}{a} \right)^2 \left( \frac{\pi}{b} \right) \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} \right) = \\ &= -10,174 \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} + 2,035 \cos \frac{\pi y}{b}. \end{aligned}$$

Для проверки правильности вычисления внутренних усилий рекомендуется использовать следующие дифференциальные уравнения:

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y}; \quad (6)$$

$$Q_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x}; \quad (7)$$

В нашем случае

$$Q_x = 20,348 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial \dot{I}_x}{\partial x} = 11,011 \frac{2\pi}{a} \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} = 17,296 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = 3,886 \frac{\pi}{b} \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} = 3,052 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = 20,348 \sin \frac{2\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}.$$



Следовательно, соотношение (6) выполняется тождественно.

$$Q_0 = -10,174 \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} + 2,035 \cos \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} = 2,591 \frac{\pi}{b} \cos \frac{\pi y}{b} - 5,182 \frac{\pi}{b} \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} =$$

$$= 2,035 \cos \frac{\pi y}{b} - 4,070 \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial \dot{I}_{xy}}{\partial x} = -3,886 \frac{2\pi}{a} \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} = -6,104 \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b};$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial \dot{I}_{xy}}{\partial x} = -10,174 \cos \frac{2\pi x}{a} \cos \frac{\pi y}{b} + 2,035 \cos \frac{\pi y}{b}.$$

Следовательно, соотношение (7) выполняется тождественно.

Для сечений пластинки, проходящих через ее центр параллельно осям  $x$  и  $y$ , определим выражения для прогибов и усилий.

При  $y = \frac{b}{2}$ :

$$\omega = 0,059 \cdot 10^{-3} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{a} \right);$$

$$M_x = -11,011 \cos \frac{2\pi x}{a} + 0,648;$$

$$M_y = 2,591 - 5,182 \cos \frac{2\pi x}{a};$$

$$M_{xy} = 0;$$

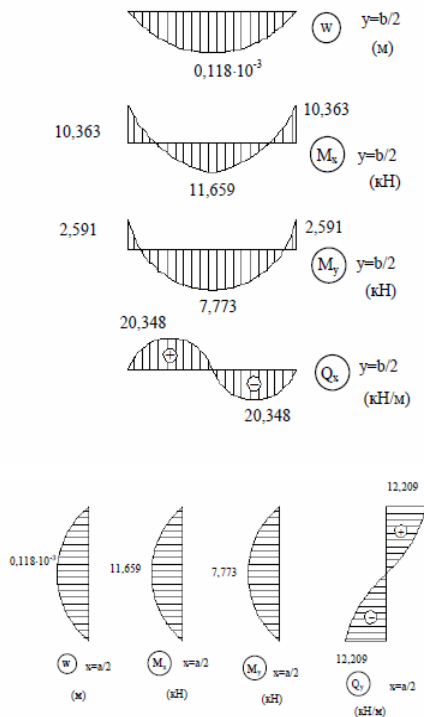


Рис. 2. Эпюры прогибов и усилий в пластинке

$$Q_x = 20,348 \sin \frac{2\pi \delta}{a};$$

$$Q_0 = 0.$$

При  $x = \frac{a}{2}$ :

$$\omega = 0,118 \cdot 10^{-3} \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$M_x = 11,659 \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$M_y = 7,773 \sin \frac{\pi y}{b};$$

$$M_{xy} = 0;$$

$$Q_x = 0;$$

$$Q_y = 12,209 \cos \frac{\pi y}{b}.$$

С помощью полученных выражений строим эпюры прогибов и усилий (рис. 2).

Из эпюр  $M_x$  и  $M_y$  устанавливаем, что опасной является точка в центре пластинки. Нормальные напряжения при  $Z = \pm \frac{h}{2}$  здесь будут равны:

$$\max |\sigma_y| = \frac{6 |M_y^{\max}|}{h^2} = \frac{6 \cdot 7,773}{(0,2)^2} = 1,166 \text{ (МПа)},$$

$$\max |\sigma_x| = \frac{6 |M_x^{\max}|}{h^2} = \frac{6 \cdot 11,659}{(0,2)^2} = 1,749 \text{ (МПа)}$$

В заключение приведем основные формулы и табличные интегралы, необходимые для решения данного задания:

$$\sin 2x = 2 \sin x \cos x;$$

$$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x = 2 \cos^2 x - 1;$$

$$\int \cos x dx = \sin x;$$

$$\int \sin x dx = -\cos x;$$

$$\int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4};$$

$$\int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4};$$

$$\int \cos^3 x dx = \sin x - \frac{\sin^3 x}{3};$$

$$\int \cos^4 x dx = \frac{3x}{8} + \frac{\sin 2x}{4} + \frac{\sin 4x}{32};$$

$$\int \sin^4 x dx = \frac{3x}{8} - \frac{\sin 2x}{4} + \frac{\sin 4x}{32}.$$

