



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник учебно-методического управления

«29» июня 2021 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Компьютерное моделирование нелинейных процессов в строительстве

направление подготовки/специальность 09.04.02 Информационные системы и технологии

направленность (профиль)/специализация образовательной программы Программирование и BIM-технологии в строительстве

Форма обучения очная

Санкт-Петербург, 2021

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Формирование у магистрантов углубленных профессиональных знаний в области компьютерного моделирования сложных нелинейных процессов на примере моделирования процесса деформирования подкрепленных оболочечных конструкций с использованием современных программных комплексов, алгоритмов расчета и технологий программирования.

- знакомство со сложностями моделирования нелинейных процессов;
- знакомство с моделями и способами расчета подкрепленных оболочечных конструкций;
- знакомство с особенностями компьютерного моделирования в задачах строительства;
- знакомство с особенностями деформирования элементов строительных конструкций, выполненных из ортотропных композиционных материалов;
- знакомство с особенностями деформирования элементов строительных конструкций при динамическом нагружении;
- развитие навыков проведения вычислительного эксперимента;
- развитие навыков проведения исследований на стыке строительной механики и компьютерного моделирования.

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения ОПОП
ПК-5 Способен осуществлять компьютерное моделирование обеспечения производственно-технологической деятельности в области строительства	ПК-5.2 Осуществляет компьютерное моделирование объектов и (или) процессов в области строительства	<b>знает</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– теоретические основы моделирования сложных нелинейных процессов;</li><li>– методы исследования математических моделей;</li><li>– основные положения нелинейной теории элементов строительных конструкций;</li><li>– современные компьютерные технологии расчета строительных конструкций;</li></ul> <b>умеет</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– использовать основные приемы математического моделирования при решении задач различной природы;</li><li>– разрабатывать математические модели деформирования элементов строительных конструкций;</li><li>– разрабатывать прикладное программное обеспечение;</li></ul> <b>владеет навыками</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– методами исследования математических моделей;</li><li>– численными методами для решения нелинейных задач;</li><li>– навыками программирования и алгоритмизации процессов.</li></ul>

ПК-5 осуществлять компьютерное моделирование обеспечения производственно- технологической деятельности в области строительства	Способен для	ПК-5.3 результаты моделирования	Представляет компьютерного	<b>знает</b> – теоретические основы моделирования сложных нелинейных процессов; – основные положения нелинейной теории элементов строительных конструкций; <b>умеет</b> – проводить вычислительный эксперимент; <b>владеет навыками</b> – навыками визуализации расчетных данных; – навыками анализа полученных результатов.
--	-----------------	---------------------------------------	-------------------------------	---

### 3. Указание места дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Данная дисциплина (модуль) включена в Блок «Дисциплины, модули» Б1.В.04 основной профессиональной образовательной программы 09.04.02 Информационные системы и технологии и относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана.

№ п/п	Предшествующие дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	Методология научных исследований	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.5, ОПК-3.1, ОПК-3.3

Методология научных исследований

- знать: методы и подходы к решению исследовательских задач средствами компьютерного моделирования;

- уметь: формализовать задачу, выявить объект, предмет и цель исследования;

- владеть: навыками описания и представления результатов исследования.

Из программы бакалавриата:

- знать: численные методы решения нелинейных задач;

- уметь: применять необходимый математический аппарат для решения прикладных задач;

- владеть: навыками выбора необходимых численных методов.

№ п/п	Последующие дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, УК-1.5, УК-1.6, УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3, УК-2.4, УК-2.5, УК-3.1, УК-3.2, УК-3.3, УК-3.4, УК-4.1, УК-4.2, УК-4.3, УК-4.4, УК-5.1, УК-5.2, УК-5.3, УК-6.1, УК-6.2, УК-6.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК- 1.3, ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-3.1, ОПК- 3.2, ОПК-3.3, ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-5.1, ОПК-5.2, ОПК- 6.1, ОПК-6.2, ОПК-7.1, ОПК-7.2, ОПК-8.1, ОПК-8.2, ОПК-8.3, ПК- 1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-2.1, ПК- 2.2, ПК-2.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК- 4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК- 5.2, ПК-5.3, ПК(Ц)-1.1, ПК(Ц)-1.2, ПК(Ц)-1.3, ПК(Ц)-1.4, ПК(Ц)-1.5, ПК(Ц)-1.6
2	Научно-исследовательская практика	ОПК-4.1, ОПК-4.3
3	Проектная практика	ПК-4.1, ПК-5.3, ПК-3.2

**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**

Вид учебной работы	Всего часов	Из них часы на практическую подготовку	Семестр	
			2	3
<b>Контактная работа</b>	64		32	32
Лабораторные занятия (Лаб)	64	64	32	32
<b>Иная контактная работа, в том числе:</b>	0,9		0,4	0,5
консультации по курсовой работе (проекту), контрольным работам (РГР)	1,4		0,4	1
контактная работа на аттестацию (сдача зачета, зачета с оценкой; защита курсовой работы (проекта); сдача контрольных работ (РГР))	0,65		0,4	0,25
контактная работа на аттестацию в сессию (консультация перед экзаменом и сдача экзамена)	0,25			0,25
<b>Часы на контроль</b>	30,75		4	26,75
<b>Самостоятельная работа (СР)</b>	154,95		71,2	83,75
<b>Общая трудоемкость дисциплины (модуля)</b>				
<b>часы:</b>	252		108	144
<b>зачетные единицы:</b>	7		3	4

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

5.1. Тематический план дисциплины (модуля)

№	Разделы дисциплины	Семестр	Контактная работа (по учебным занятиям), час.						СР	Всего, час.	Код индикатора достижения компетенции
			лекции		ПЗ		ЛР				
			всего	из них на практическую подготовку	всего	из них на практическую подготовку	всего	из них на практическую подготовку			
1.	1 раздел. Компьютерное моделирование деформирования оболочечных конструкций, подкрепленных ребрами жесткости										
1.1.	Основные характеристики оболочечных конструкций	2					2	2	2	4	ПК-5.2
1.2.	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций, подкрепленных ребрами жесткости	2					6	6	16	22	ПК-5.2
1.3.	Методика решения задач прочности и устойчивости для оболочек, подкрепленных ребрами жесткости	2					4	4	6	10	ПК-5.2

1.4.	Современные компьютерные технологии для решения нелинейных задач теории оболочек	2					6	6	21,2	27,2	ПК-5.2
1.5.	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	2					14	14	26	40	ПК-5.2, ПК-5.3
2.	2 раздел. Контроль										
2.1.	Зачет	2								4,8	ПК-5.2, ПК-5.3
3.	3 раздел. Компьютерное моделирование деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении										
3.1.	Динамическое нагружение. Виды нагрузок	3					2	2	4	6	ПК-5.2
3.2.	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении	3					4	4	8	12	ПК-5.2
3.3.	Численные методы решения нелинейных задач динамики	3					6	6	12	18	ПК-5.2
3.4.	Методика решения задач устойчивости при динамическом нагружении	3					4	4	6	10	ПК-5.2
3.5.	Разработка программного обеспечения для анализа устойчивости оболочечных конструкций при динамическом нагружении	3					8	8	20	28	ПК-5.2
3.6.	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	3					8	8	33,7 5	41,75	ПК-5.2
4.	4 раздел. Иная контактная работа										
4.1.	Иная контактная работа	3								1,25	ПК-5.2, ПК-5.3
5.	5 раздел. Контроль										
5.1.	Экзамен	3								27	ПК-5.2, ПК-5.3

#### 5.1. Лабораторные работы

№ п/п	Наименование раздела и темы лабораторных работ	Наименование и содержание лабораторных работ
1	Основные характеристики оболочечных конструкций	Напряженно-деформированное состояние. Деформации, перемещения, усилия, моменты, напряжения. Тонкостенные оболочки. Параметры Ляме. Пологие оболочки двойкой кривизны

		прямоугольного плана, цилиндрические, конические, сферические, тороидальные оболочки и панели. Способы закрепления контура конструкций. Виды прикладываемых нагрузок.
2	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций, подкреплённых ребрами жесткости	Оболочки, подкреплённые ортогональной сеткой ребер. Сдвиговая и крутильная жесткость. Метод конструктивной анизотропии. Дискретное введение ребер жесткости. Функционал полной потенциальной энергии деформации для оболочек, подкреплённых ребрами жесткости.
3	Методика решения задач прочности и устойчивости для оболочек, подкреплённых ребрами жесткости	Разбиение функционала на несколько частей. Анализ прочности в разных частях конструкции.
4	Современные компьютерные технологии для решения нелинейных задач теории оболочек	Математические пакеты, поддерживающие возможность распараллеливания процессов вычислений. Maple. MatLab. Технология CUDA. Технологии визуализации процесса деформирования конструкций.
5	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	Влияние наличия подкрепления на напряженно-деформированное состояние конструкции. Анализ перемещений и напряжений. Сходимость метода Рунге. Сходимость метода конструктивной анизотропии.
7	Динамическое нагружение. Виды нагрузок	Деформирование при действии нагрузки, зависящей от времени. Функции перемещений. Скорость нагружения. Масса конструкций. Колебательный процесс.
8	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении	Геометрические соотношения тонкостенных оболочек. Геометрическая нелинейность. Физические соотношения. Функционал полной энергии деформации оболочки. Кинетическая энергия.
9	Численные методы решения нелинейных задач динамики	Методы минимизации функционала полной энергии деформации. Метод Л.В. Канторовича. Методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие системы ОДУ. Метод Рунге-Кутты. Метод Гира. Метод Розенброка.
10	Методика решения задач устойчивости при динамическом нагружении	Анализ графика зависимости «нагрузка – прогиб». Точки перегиба. Критерий А.С. Вольмира. Анализ графика зависимости «перемещение – время».
11	Разработка программного обеспечения для анализа устойчивости оболочечных конструкций при динамическом нагружении	Разработка ПО в математических пакетах. Оптимизация процессов вычислений.

12	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	Методология проведения вычислительного эксперимента. Выявление закономерностей и особенностей деформирования конструкций при проведении вычислительного эксперимента.
----	--	---

## 5.2. Самостоятельная работа обучающихся

№ п/п	Наименование раздела дисциплины и темы	Содержание самостоятельной работы
1	Основные характеристики оболочечных конструкций	Изучение материала по теме.
2	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций, подкрепленных ребрами жесткости	Изучение материала по теме. Выполнение преобразований математической модели.
3	Методика решения задач прочности и устойчивости для оболочек, подкрепленных ребрами жесткости	Изучение материала по теме.
4	Современные компьютерные технологии для решения нелинейных задач теории оболочек	Изучение материала по теме.
5	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	Изучение материала по теме. Работа над курсовым проектом – проведение вычислительных экспериментов, обработка данных, анализ результатов.
7	Динамическое нагружение. Виды нагрузок	Изучение материала по теме.
8	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении	Изучение материала по теме. Выполнение преобразований математической модели. Начало работы над курсовым проектом.
9	Численные методы решения нелинейных задач динамики	Изучение материала по теме. Применение к математической модели численных методов. Работа над курсовым проектом.
10	Методика решения задач устойчивости при динамическом нагружении	Изучение материала по теме. Работа над курсовым проектом.
11	Разработка программного обеспечения для анализа устойчивости оболочечных конструкций при динамическом нагружении	Изучение материала по теме. Работа над курсовым проектом – разработка и отладка программного обеспечения.
12	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	Изучение материала по теме. Проведение расчетов (вычислительных экспериментов) по разработанной программе. Анализ результатов, оформление курсового проекта

## 6. Методические материалы для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Программой дисциплины предусмотрено проведение лабораторных занятий, предполагающих закрепление изученного материала и формирование у обучающихся необходимых знаний, умений и навыков. Кроме того, важнейшим этапом изучения дисциплины является самостоятельная работа обучающихся с использованием всех средств и возможностей современных образовательных технологий.

В объем самостоятельной работы по дисциплине включается следующее:

- изучение теоретических вопросов по всем темам дисциплины;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к текущему контролю успеваемости студентов;
- подготовка к контрольной работе;
- выполнение курсового проекта;
- подготовка к экзамену.

Залогом успешного освоения дисциплины является обязательное посещение лабораторных занятий, так как пропуск одного (тем более, нескольких) занятий может осложнить освоение разделов курса.

Приступая к изучению дисциплины, обучающемуся необходимо в первую очередь ознакомиться с содержанием РПД, а также методическими указаниями по организации самостоятельной работы и подготовки к лабораторным занятиям.

При подготовке к лабораторным занятиям и в рамках самостоятельной работы по изучению дисциплины обучающимся необходимо:

- повторить законспектированный материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- при самостоятельном изучении теоретической темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПД источники;
- выполнить лабораторные задания в рамках изучаемой темы;
- ответить на контрольные вопросы по теме, используя материалы ФОС, либо групповые индивидуальные задания, подготовленные преподавателем;
- выполнить курсовой проект;
- подготовиться к промежуточной аттестации.

Итогом изучения дисциплины является экзамен и курсовой проект.

Экзамен проводится по расписанию. Форма проведения занятия может быть устная, письменная и в электронном виде. Студенты, не прошедшие аттестацию, должны ликвидировать задолженность в установленном порядке.

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

### 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины (модуля)	Код и наименование индикатора контролируемой компетенции	Вид оценочного средства
1	Основные характеристики оболочечных конструкций	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся
2	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций,	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения



	подкрепленных ребрами жесткости		лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся.
3	Методика решения задач прочности и устойчивости для оболочек, подкрепленных ребрами жесткости	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся.
4	Современные компьютерные технологии для решения нелинейных задач теории оболочек	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся.
5	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	ПК-5.2, ПК-5.3	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся.
6	Зачет	ПК-5.2, ПК-5.3	
7	Динамическое нагружение. Виды нагрузок	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся
8	Математическая модель деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для

			проведения промежуточной аттестации обучающихся. Контроль поэтапного выполнения курсового проекта.
9	Численные методы решения нелинейных задач динамики	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся. Контроль поэтапного выполнения курсового проекта.
10	Методика решения задач устойчивости при динамическом нагружении	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся. Контроль поэтапного выполнения курсового проекта.
11	Разработка программного обеспечения для анализа устойчивости оболочечных конструкций при динамическом нагружении	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся. Контроль поэтапного выполнения курсового проекта.
12	Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов	ПК-5.2	Контроль поэтапного выполнения лабораторных заданий. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся.

			Контроль поэтапного выполнения курсового проекта.
13	Иная контактная работа	ПК-5.2, ПК-5.3	
14	Экзамен	ПК-5.2, ПК-5.3	

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля успеваемости, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Для проверки сформированности индикаторов компетенций ПК-5.2, ПК-5.3 типовые контрольные задания и иные материалы текущего контроля успеваемости размещены по адресу ЭИОС Moodle

<https://moodle.spbgasu.ru/> Кафедры / Информационные технологии / Компьютерное и математическое моделирование в строительстве

7.3. Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) при проведении текущего контроля успеваемости

<p>Оценка «отлично» (зачтено)</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;</li> <li>- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;</li> <li>- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</li> </ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- умеет ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин</li> </ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li> <li>- владеет навыками самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;</li> <li>- применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий;</li> <li>- грамотно обосновывает ход решения задач;</li> <li>- безупречно владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;</li> <li>- творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активно участвует в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий</li> </ul>
---------------------------------------	---

<p>Оценка «хорошо» (зачтено)</p>	<p>знания: - достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине; - усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</p> <p>умения: - умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку; - использует научную терминологию, лингвистически и логически правильно излагает ответы на вопросы, умеет делать обоснованные выводы; - владеет инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач</p> <p>навыки: - самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий; - средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий; - обосновывает ход решения задач без затруднений</p>
<p>Оценка «удовлетворительно» (зачтено)</p>	<p>знания: - достаточный минимальный объем знаний по дисциплине; - усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой; - использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок</p> <p>умения: - умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку; - владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач; - умеет под руководством преподавателя решать стандартные задачи</p> <p>навыки: - работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий; - достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий</p>
<p>Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено)</p>	<p>знания: - фрагментарные знания по дисциплине; - отказ от ответа (выполнения письменной работы); - знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине;</p> <p>умения: - не умеет использовать научную терминологию; - наличие грубых ошибок</p> <p>навыки: - низкий уровень культуры исполнения заданий; - низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - отсутствие навыков самостоятельной работы; - не может обосновать алгоритм выполнения заданий</p>

7.4. Теоретические вопросы и практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### 7.4.1. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету (ПК-5.2, ПК-5.3):

1. Оболочки, подкрепленные ортогональной сеткой ребер. Сдвиговая и крутильная жесткость.
2. Метод конструктивной анизотропии.
3. Дискретное введение ребер жесткости.
4. Функционал полной потенциальной энергии деформации для оболочек, подкрепленных ребрами жесткости.
5. Методика решения задач прочности и устойчивости для оболочек, подкрепленных ребрами жесткости.
6. Анализ прочности в разных частях конструкции.
7. Современные компьютерные технологии для решения нелинейных задач теории оболочек.
8. Технологии визуализации процесса деформирования конструкций.
9. Проведение вычислительного эксперимента и анализ результатов.
10. Влияние наличия подкрепления на напряженно-деформированное состояние конструкции.
11. Анализ перемещений и напряжений.
12. Сходимость метода Рунге.
13. Сходимость метода конструктивной анизотропии.

Вопросы к экзамену (ПК-5.2, ПК-5.3):

1. Динамическое нагружение. Виды динамических нагрузок.
2. Деформирование при действии нагрузки, зависящей от времени.
3. Ортоотропия материала. Обобщенный закон Гука.
4. Физические соотношения для изотропных и ортоотропных материалов.
5. Математическая модель деформирования оболочечных конструкций при динамическом нагружении.
6. Основные характеристики оболочечных конструкций.
7. Способы закрепления контура конструкций и виды прикладываемых нагрузок.
8. Геометрические соотношения тонкостенных оболочек. Геометрическая нелинейность. Физические соотношения.
9. Функционал полной энергии деформации оболочки. Кинетическая энергия.
10. Численные методы решения нелинейных задач динамики.
11. Метод Л.В. Канторовича.
12. Методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие системы ОДУ.
13. Метод Рунге-Кутты. Метод Гира. Метод Розенброка.
14. Методика решения задач устойчивости при динамическом нагружении.
15. Анализ графика зависимости «нагрузка – прогиб». Точки перегиба.
16. Разработка ПО в математических пакетах. Оптимизация процессов вычислений.
17. Методология проведения вычислительного эксперимента.

#### 7.4.2. Практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примеры заданий (ПК-5.2, ПК-5.3):

1. Разработать компьютерную программу для анализа устойчивости оболочечных конструкций. Найти критическую нагрузку потери устойчивости для стальной пологой оболочки двоякой кривизны с параметрами  $h=0.01$  м,  $a=b=60h$ ,  $R_1=R_2=225h$ . Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная. Построить график зависимости «нагрузка – прогиб» и поля перемещений и напряжений.

2. Найти решение задачи устойчивости для геометрически нелинейной конической панели с параметрами  $h=0.01$  м,  $a_1=16$  м,  $a=32$  м,  $\theta=0.78$ ,  $b=R_1$ . Нагружение – динамическое,  $A_1=10$  МПа/с. Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно

распределенная. Построить поля перемещений и напряжений.

3. Разработать компьютерную программу для анализа устойчивости оболочечных конструкций, подкрепленной ортогональной сеткой ребер. Найти критическую нагрузку потери устойчивости для стальной полой оболочки двойной кривизны с параметрами  $h=0.03$  м,  $a=b=600h$ ,  $R_1=R_2=1510h$ . Варианты подкрепления: 4x4, 8x8, 12x12. Параметры ребер 3hх2h. Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная. Построить график зависимости «нагрузка – прогиб» и поля перемещений и напряжений.

#### 7.4.3. Примерные темы курсовой работы (проекта) (при наличии)

Требования к выполнению курсового проекта

1. Курсовой проект «Компьютерное моделирование деформирования оболочечных конструкций». Студенты должны разработать алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости оболочечной конструкции с учетом геометрической нелинейности при динамическом нагружении, а также реализовать его с применением современных технологий программирования.

2. Необходимо реализовать анализ устойчивости конструкции, провести расчеты некоторых вариантов конструкций, показать сходимость численных методов.

3. Варианты заданий формируются изменением вида геометрии оболочки, материала, вида прикладываемой нагрузки, скорости нагружения, способа закрепления контура, используемого численного метода для решения системы ОДУ.

4. В качестве дополнительного задания возможна реализация в программе анализа прочности конструкции или нелинейных свободных колебаний.

#### 7.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Процедура проведения промежуточной аттестации и текущего контроля успеваемости регламентируется локальным нормативным актом, определяющим порядок организации и проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Процедура оценивания формирования компетенций при проведении текущего контроля приведена в п. 7.2.

Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля приведены в п. 7.3.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета, курсового проекта и экзамена.

Курсовой проект защищается студентом.

Зачет проводится в форме собеседования.

Экзамен проводится в форме собеседования и выполнения практического задания. В экзаменационный билет включено два теоретических вопроса и практическое задание, соответствующие содержанию формируемых компетенций. Экзамен проводится в устной форме. Для подготовки по экзаменационному билету отводится 40 минут.

#### 7.6. Критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценивания	Уровень освоения и оценка			
	Оценка «неудовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно»	Оценка «хорошо»	Оценка «отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		

	<p>Уровень освоения компетенции «недостаточный». Компетенции не сформированы. Знания отсутствуют, умения и навыки не сформированы</p>	<p>Уровень освоения компетенции «пороговый». Компетенции сформированы. Сформированы базовые структуры знаний. Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер. Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «продвинутый». Компетенции сформированы. Знания обширные, системные. Умения носят репродуктивный характер, применяются к решению типовых заданий. Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности устойчивого практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «высокий». Компетенции сформированы. Знания аргументированные, всесторонние. Умения успешно применяются к решению как типовых, так и нестандартных творческих заданий. Демонстрируется высокий уровень самостоятельности, высокая адаптивность практического навыка</p>
знания	<p>Обучающийся демонстрирует: -существенные пробелы в знаниях учебного материала; -допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий; -непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -знания теоретического материала; -неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов; -неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала; -знания теоретического материала -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития; -правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует: -глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала; -полное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий, в рамках обсуждаемых заданий; -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, -логически последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора.</p>

<p>умения</p>	<p>При выполнении практического задания билета обучающийся продемонстрировал недостаточный уровень умений. Практические задания не выполнены. Обучающийся не отвечает на вопросы билета при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Допускаются ошибки в содержании ответа и решении практических заданий. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Предложенные практические задания решены с небольшими неточностями. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p>	<p>Обучающийся правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Решает предложенные практические задания без ошибок. Ответил на все дополнительные вопросы.</p>
<p>владение навыками</p>	<p>Не может выбрать методику выполнения заданий. Допускает грубые ошибки при выполнении заданий, нарушающие логику решения задач. Делает некорректные выводы. Не может обосновать алгоритм выполнения заданий.</p>	<p>Испытывает затруднения по выбору методики выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, нарушения логики решения задач. Испытывает затруднения с формулированием корректных выводов. Испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий.</p>	<p>Без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, не нарушающие логику решения задач. Делает корректные выводы по результатам решения задачи. Обосновывает ход решения задач без затруднений.</p>	<p>Применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий. Не допускает ошибок при выполнении заданий. Самостоятельно анализирует результаты выполнения заданий. Грамотно обосновывает ход решения задач.</p>

Оценка по дисциплине зависит от уровня сформированности компетенций, закрепленных за дисциплиной, и представляет собой среднее арифметическое от выставленных оценок по отдельным результатам обучения (знания, умения, владение навыками).

Оценка «отлично»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 4,5 до 5,0.

Оценка «хорошо»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 3,5 до 4,4.

Оценка «удовлетворительно»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 2,5 до 3,4.

Оценка «неудовлетворительно»/«не зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 0 до 2,4.



## 8. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров/электронный адрес ЭБС
<b>Основная литература</b>		
1	Рябикова Т. В., Семенов А. А., Вариационные методы в задачах статики и динамики строительных конструкций, СПб., 2016	ЭБС
2	Атисков А. Ю., Баранова Д. А., Карпов В. В., Москаленко Л. П., Семенов А. А., Компьютерные технологии расчета оболочек, СПб., 2012	ЭБС
3	Мокрова Н. В., Суркова Л. Е., Численные методы в инженерных расчетах, Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018	ЭБС
4	Батищев Р. В., Численные методы, Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018	ЭБС
5	Карпов В. В., Математическое моделирование, алгоритмы исследования модели, вычислительный эксперимент в теории оболочек, СПб., 2006	ЭБС
6	Карпов В. В., Панин А. Н., Математическое моделирование и расчет элементов строительных конструкций, СПб., 2013	ЭБС

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

### 8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
Сайт компании MathWorks, выпускающей математический пакет MATLAB	<a href="https://www.mathworks.com/products/matlab.html">https://www.mathworks.com/products/matlab.html</a>
Сайт компании Maplesoft, выпускающей математический пакет Maple	<a href="https://www.maplesoft.com/products/maple/">https://www.maplesoft.com/products/maple/</a>
Сайт поддержки языка программирования Python	<a href="https://www.python.org/">https://www.python.org/</a>
Сайт с документацией по работе с технологией CUDA	<a href="https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-toolkit-release-notes/index.html">https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-toolkit-release-notes/index.html</a>

### 8.3. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Наименование	Электронный адрес ресурса
Электронно-библиотечная система издательства "ЮРАЙТ"	<a href="https://www.biblio-online.ru/">https://www.biblio-online.ru/</a>
Система дистанционного обучения СПбГАСУ Moodle	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/">https://moodle.spbgasu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система издательства "IPRbooks"	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

### 8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Наименование	Способ распространения (лицензионное или свободно распространяемое)
--------------	---

Microsoft Windows 10 Pro	Договор № Д32009689201 от 18.12.2020г Программные продукты Майкрософт, договор № Д32009689201 от 18.12.2020 с АО "СофтЛайн Трейд": Windows 10, Project Professional 2016, Visio Professional 2016, Office 2016.
Microsoft Office 2016	Договор № Д32009689201 от 18.12.2020г Программные продукты Майкрософт, договор № Д32009689201 от 18.12.2020 с АО "СофтЛайн Трейд": Windows 10, Project Professional 2016, Visio Professional 2016, Office 2016.
Microsoft Visual Studio 2017	Договор № Д32009689201 от 18.12.2020г Программные продукты Майкрософт, договор № Д32009689201 от 18.12.2020 с АО "СофтЛайн Трейд": Windows 10, Project Professional 2016, Visio Professional 2016, Office 2016.
Maple версия 2017	MAPLE договор №б/н от 21.06.2017 с АО "СофтЛайн Трейд" бессрочный
Matlab версия R2019a	MATLAB договор №Д31908369487 от 01.11.2019 с ООО "Софтлайн Проекты"
Notepad++ версия 7.7.1	свободно распространяемое

#### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

##### Сведения об оснащённости учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость оборудованием и техническими средствами обучения
47. Компьютерный класс	Рабочие места с ПК (стол компьютерный, системный блок, монитор, клавиатура, мышь), стол рабочий, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Internet.
47. Помещения для самостоятельной работы	Помещение для самостоятельной работы (читальный зал библиотеки, ауд. 217): ПК-23 шт., в т.ч. 1 шт. - ПК для лиц с ОВЗ (системный блок, монитор, клавиатура, мышь) с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду СПбГАСУ. ПО Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2016
47. Учебные аудитории для проведения практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Учебная аудитория для проведения практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации – комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудио-система), доска маркерная белая эмалевая, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет.

Для инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются специальные условия для получения образования в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов.