



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологий информационного и математического моделирования

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник учебно-методического управления

«26» июня 2025 г.

## **ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ**

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

---

**согласно паспорту научной специальности:** 1.2.2. Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

---

**по группе научных специальностей:** 1.2. Компьютерные науки и информатика

---

**Форма обучения – очная**

Санкт-Петербург, 2025

## 1. Наименование дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

### *Цели и задачи дисциплины*

#### **Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование профессиональных компетенций, обеспечивающих решение профессиональных задач;
- изучение математических методов моделирования для решения задач строительства;
- формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний в области проведения вычислительного эксперимента;
- формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний в области компьютерного моделирования.

#### **Задачами освоения дисциплины являются:**

- развитие навыков применения, модификации и разработки численных методов решения задач;
- развитие навыков разработки вычислительных алгоритмов и написания программ, их реализующих;
- ознакомление обучающихся с основными подходами к математическому моделированию прикладных задач;
- ознакомление обучающихся с методологией разработки и численной реализации моделей расчета элементов строительных конструкций;
- знакомство с особенностями компьютерного моделирования в задачах строительства;
- усовершенствование навыков работы с математическими пакетами.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)	Наименование оценочного средства
<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- классические методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов;</li><li>- методику проведения вычислительных экспериментов;</li><li>- методологию сопоставления результатов расчетов с данными измерений;</li><li>- методы идентификации математических описаний реальных явлений и процессов на основе экспериментальных данных;</li><li>- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;</li><li>- особенности математических моделей в области строительства;</li><li>- работы специалистов, работающих с математическими моделями в области строительства;</li><li>- современную методологию программирования;</li><li>- современные компьютерные технологии расчета строительных конструкций;</li><li>- современные методы моделирования экологических процессов и задач строительства;</li><li>- теоретические основы и основные методы разработки экологических математических моделей;</li></ul>	индивидуальное задание

<ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы математического моделирования как научного метода;</li> <li>- теоретические основы моделирования сложных нелинейных процессов;</li> <li>- теорию нелинейного деформирования тонкостенных конструкций;</li> </ul>	
<p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать полученные результаты;</li> <li>- использовать информационно-коммуникационную сеть «Интернет» для поиска нужной информации;</li> <li>- использовать информационные технологии для изучения современных теоретических и экспериментальных работ в области моделирования экологических процессов и задач строительства;</li> <li>- объективно оценивать результаты исследований;</li> <li>- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений;</li> <li>- применять основные приемы математического моделирования при решении задач различной природы;</li> <li>- проводить вычислительный эксперимент;</li> <li>- разрабатывать вычислительные алгоритмы;</li> <li>- разрабатывать прикладное программное обеспечение;</li> <li>- формулировать математические модели исследуемых объектов и явлений;</li> </ul>	индивидуальное задание
<p><b>владеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критериями оценки работ других специалистов;</li> <li>- культурой научного исследования;</li> <li>- методами аналитического и численного решения прикладных задач;</li> <li>- методами исследования математических моделей;</li> <li>- методикой построения и исследования математических моделей;</li> <li>- навыками анализа экспериментальных и модельных результатов применительно к решению экологических задач и задач строительства;</li> <li>- навыками использования программных средств и ресурсов сети Интернет;</li> <li>- навыками проведения расчетов и анализа полученных результатов применительно к решению строительных и экологических задач;</li> <li>- навыками самостоятельного обучения и разработки новых методов исследования в области профессиональной деятельности;</li> <li>- численными методами для решения нелинейных задач;</li> </ul>	индивидуальное задание

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

3.1. Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» относится к образовательному компоненту учебного плана программы аспирантуры.

3.2. Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, приобретенные при обучении по программам бакалавриата, специалитета и (или) магистратуры.

*Требования к основным знаниям, умениям и владениям обучающихся:*

Для освоения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» необходимо:

знать:

- дифференциальное и интегральное исчисление;
- методы и приемы построения математических моделей;
- численные методы решения систем нелинейных алгебраических уравнений.

уметь:

- работать в современных математических пакетах;

владеть:

- навыками разработки программного обеспечения.

3.3. Освоение данной дисциплины обеспечивает возможность активного участия в международных образовательных программах, конференциях, симпозиумах, чтение специальной литературы и др.

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

#### **Очная форма обучения**

Вид учебной деятельности		Часов	
		Всего	по семестрам
			3
<b>Контактная работа</b> (по учебным занятиям)		<b>42</b>	<b>42</b>
<i>в т. ч. лекции</i>		28	28
<i>практические занятия (ПЗ)</i>		14	14
<i>лабораторные занятия (ЛЗ)</i>			
<i>др. виды аудиторных занятий</i>			
<b>Самостоятельная работа (СР)</b>		<b>138</b>	<b>138</b>
Трудоемкость по дисциплине	часов:	<b>180</b>	<b>180</b>
	зач. ед:	5	5
Промежуточная аттестации по дисциплине	часов:	<b>36</b>	<b>36</b>
	зач. ед:	1	1
<b>ИТОГО:</b>		<b>216</b>	<b>216</b>
<b>Общая трудоемкость</b>		<b>6</b>	<b>6</b>

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

#### 5.1. Тематический план дисциплины

#### **Очная форма обучения**

№	Раздел дисциплины	Семестр	Контактная работа (по учебным занятиям)			СР	Всего
			Лекц.	ПЗ	ЛЗ		
1.	1-й раздел (Математическое моделирование)	3	10	5		38	53

1.1	Математическое моделирование экологических процессов		3	2		12	17
1.2	Построение математических моделей на основе применения вариационных принципов		3	1		8	12
1.3	Математические модели элементов строительных конструкций		4	2		18	24
<b>2.</b>	<b>2-й раздел (Численные методы)</b>		<b>6</b>	<b>3</b>		<b>28</b>	<b>37</b>
2.1	Численные методы решения задач механики		3	2		14	19
2.2	Численные методы решения нелинейных систем		3	1		14	18
<b>3.</b>	<b>3-й раздел (Комплексы программ)</b>		<b>12</b>	<b>6</b>		<b>72</b>	<b>90</b>
3.1	Компьютерные технологии математического моделирования		2	1		10	13
3.2	Компьютерные модели деформирования элементов строительных конструкций		4	2		14	20
3.3	Методика исследования НДС, прочности и устойчивости элементов строительных конструкций		2	1		10	13
3.4	Вычислительный эксперимент в задачах строительства		4	2		38	44
<b>Форма промежуточной аттестации – экзамен</b>			-	-	-	-	<b>36</b>
<b>Итого часов:</b>			<b>28</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>138</b>	<b>216</b>

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

### 1-й раздел: Математическое моделирование

#### 1.1 Математическое моделирование экологических процессов

Методы математического моделирования пограничного слоя атмосферы (ПСА). Интегральные методы, моделирование осредненных полей, моделирование крупных вихрей. Область применения, преимущества и недостатки.

Модель стационарного ПСА над горизонтально-неоднородной поверхностью. Численное моделирование горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы. Постановка задачи. Предположения, при которых записывается модель, система уравнений модели, схема замыкания, граничные условия. Сравнение модели с экспериментальными данными и расчетами по другим моделям.

#### 1.2 Построение математических моделей на основе применения вариационных принципов

Получение математических моделей на основе фундаментальных законов природы, вариационных принципах, принципе аналогий, иерархического подхода и др. Нелинейность математических моделей. Математическая модель, получаемая применением нескольких фундаментальных законов природы.

Вариационные принципы Лагранжа, Гамильтона – Остроградского.

#### 1.3 Математические модели элементов строительных конструкций

Перемещения точек твердого тела. Деформации. Напряжения. Нагрузки. Параметры материала. Связь характеристик между собой.

Линейно-упругая модель (геометрические соотношения, физические соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).

Нелинейно-упругая модель (геометрические соотношения, физические соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).

Модель с учетом ползучести материала (геометрические соотношения, физические

соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).

Модель для балки, плиты, оболочки.

## **2-й раздел: Численные методы**

### **2.1 Численные методы решения задач механики**

Метод Рунге. Метод Бунднова – Галеркина. Метод конечных элементов. Численное интегрирование.

Аппроксимация. Метод наименьших квадратов. Интерполяция.

Аппроксимирующие функции в задачах механики.

### **2.2 Численные методы решения нелинейных систем**

Метод итераций. Метод Ньютона. Метод продолжения решения по параметру

## **3-й раздел: Комплексы программ**

### **3.1 Компьютерные технологии математического моделирования**

Исследование математической модели. Алгоритм. Требования, предъявляемые к вычислительным алгоритмам при решении прикладных задач. Разработка программного обеспечения для анализа прочности и устойчивости оболочечных конструкций. Разработка ПО в математических пакетах. Оптимизация процессов вычислений.

### **3.2 Компьютерные модели деформирования элементов строительных конструкций**

Представление расчетных данных. Поля прогибов и напряжений. Визуализация конструкций и их характеристик.

### **3.3 Методика исследования НДС, прочности и устойчивости элементов строительных конструкций**

Критерий Ляпунова. Критерии прочности. Методика решения задач прочности и устойчивости при учете физической нелинейности. Анализ графика зависимости «нагрузка – прогиб».

### **3.4 Вычислительный эксперимент в задачах строительства**

Методология проведения вычислительного эксперимента. Выявление закономерностей и особенностей деформирования конструкций при проведении вычислительного эксперимента. Верификация полученных результатов.

## **5.3. Практические занятия**

<b>№ п/п</b>	<b>№ раздела дисциплины</b>	<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Всего часов</b>
	<b>1-й раздел</b>	<b>Математическое моделирование</b>	<b>5</b>
1	1.1	Математическое моделирование экологических процессов	2
2	1.2	Построение математических моделей на основе применения вариационных принципов	1
3	1.3	Математические модели элементов строительных конструкций	2
	<b>2-й раздел</b>	<b>Численные методы</b>	<b>3</b>
4	2.1	Численные методы решения задач механики	2
5	2.2	Численные методы решения нелинейных систем	1
	<b>3-й раздел</b>	<b>Комплексы программ</b>	<b>6</b>
6	3.1	Компьютерные технологии математического моделирования	1
7	3.2	Компьютерные модели деформирования элементов строительных конструкций	2

8	3.3	Методика исследования НДС, прочности и устойчивости элементов строительных конструкций	1
9	3.4	Вычислительный эксперимент в задачах строительства	2

#### 5.4. Лабораторный практикум

Не предусмотрено.

#### 5.5. Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Вид самостоятельной работы	Всего часов
	<b>1-й раздел</b>	<b>Математическое моделирование</b>	<b>38</b>
1	1.1	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям.	12
2	1.2	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям.	8
3	1.3	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям.	18
	<b>2-й раздел</b>	<b>Численные методы</b>	<b>28</b>
4	2.1	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям.	14
5	2.2	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям. Применение численных методов к математическим моделям.	14
	<b>3-й раздел</b>	<b>Комплексы программ</b>	<b>72</b>
6	3.1	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям.	10
7	3.2	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям.	14
8	3.3	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям.	10
9	3.4	Изучение лекционного материала. Подготовка к практическим заданиям. Проведение вычислительных экспериментов.	38
<b>ИТОГО часов в семестре:</b>			<b>138</b>

#### 6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Рабочая программа по дисциплине
2. Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.
3. Перечень вопросов промежуточной аттестации.
4. Методическое обеспечение дисциплины в среде дистанционного обучения Moodle.

#### 7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной/текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

ФОС обеспечивает объективный контроль достижения всех результатов обучения,

запланированных для дисциплины.

ФОС включает в себя:

- перечень контролируемых разделов дисциплины с указанием результатов обучения;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования результатов обучения и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

#### 7.1. Перечень контролируемых разделов дисциплины с указанием результатов обучения

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Результаты обучения
1	1.1 1.2 1.3	<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;</li> <li>- работы специалистов, работающих с математическими моделями в области строительства;</li> </ul> <p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений;</li> </ul> <p><b>владеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критериями оценки работ других специалистов;</li> <li>- методами аналитического и численного решения прикладных задач;</li> </ul>
2	1.2 2.1 2.2	<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теорию нелинейного деформирования тонкостенных конструкций;</li> <li>- методологию сопоставления результатов расчетов с данными измерений;</li> </ul> <p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить вычислительный эксперимент;</li> <li>- анализировать полученные результаты;</li> </ul> <p><b>владеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой построения и исследования математических моделей;</li> <li>- численными методами для решения нелинейных задач;</li> </ul>
3	3.1 3.2 3.3 3.4	<p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы математического моделирования как научного метода;</li> <li>- особенности математических моделей в области строительства;</li> </ul> <p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять основные приемы математического моделирования при решении задач различной природы;</li> <li>- использовать информационно-коммуникационную сеть «Интернет» для поиска нужной информации;</li> </ul> <p><b>владеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- культурой научного исследования;</li> <li>- навыками использования программных средств и ресурсов сети Интернет;</li> </ul>

4	1.3 2.1 2.2	<b>знает</b> - современные методы моделирования экологических процессов и задач строительства;
		<b>умеет</b> - использовать информационные технологии для изучения современных теоретических и экспериментальных работ в области моделирования экологических процессов и задач строительства;
		<b>владеет</b> - навыками самостоятельного обучения и разработки новых методов исследования в области профессиональной деятельности;
5	1.1 1.2 1.3 2.1 2.2 3.1 3.2 3.3 3.4	<b>знает</b> - теоретические основы и основные методы разработки экологических математических моделей; - теоретические основы моделирования сложных нелинейных процессов; - современные компьютерные технологии расчета строительных конструкций;
		<b>умеет</b> - формулировать математические модели исследуемых объектов и явлений;
		<b>владеет</b> - навыками анализа экспериментальных и модельных результатов применительно к решению экологических задач и задач строительства;
6	3.3 3.4	<b>знает</b> - методику проведения вычислительных экспериментов; - современную методологию программирования; - методы идентификации математических описаний реальных явлений и процессов на основе экспериментальных данных;
		<b>умеет</b> - объективно оценивать результаты исследований; - использовать информационные технологии для изучения современных теоретических и экспериментальных работ в области моделирования экологических процессов и строительных задач;
		<b>владеет</b> - навыками проведения расчетов и анализа полученных результатов применительно к решению строительных и экологических задач;
7	2.1 2.2 3.1 3.2	<b>знает</b> - классические методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов;
		<b>умеет</b> - разрабатывать вычислительные алгоритмы; - разрабатывать прикладное программное обеспечение;
		<b>владеет</b> - методами исследования математических моделей; - численными методами для решения нелинейных задач.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.2.1.

### Оценка «отлично»

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;
- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;
- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе результатов обучения.

### Оценка «хорошо»

- достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку;
- использование научной терминологии, лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине;
- самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;
- средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе результатов обучения.

### Оценка «удовлетворительно»

- достаточный минимальный объем знаний по дисциплине;
- усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные задачи;
- работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий;
- достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе результатов обучения.

### Оценка «неудовлетворительно»

- фрагментарные знания по дисциплине;
- отказ от ответа (выполнения письменной работы);
- знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине;
- неумение использовать научную терминологию;
- наличие грубых ошибок;
- низкий уровень культуры исполнения заданий;
- низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе результатов обучения.

### 7.2.2.

#### Шкала оценивания

Количество правильных ответов, %	Оценка
до 50	«неудовлетворительно», «не зачтено»
от 51 до 65	«удовлетворительно», «зачтено»
от 66 до 85	«хорошо», «зачтено»
от 86	«отлично», «зачтено»

7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы текущей аттестации, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования результатов обучения и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы

### **Контрольная работа № 1**

Рассчитать поля метеорологических величин: скорости ветра, температуры и влажности по модели нестационарного горизонтально-однородного ПСА при следующих значениях параметров:

$a=20$ ,  $\beta=2.3$ ,  $\beta_1=0.5$ ,  $G=7.5$  м/с,  $\varphi=60^\circ$ ,  $z_0=1.8$  см,  $H=2000$  м.

Температура на уровне шероховатости изменяется в течение суток в соответствии с табличными данными:

Время, ч	1	2	5	7	8	10	11
Темп., °С	10,3	10,1	11,1	16,8	18,7	22,4	23,3
Влажность, г/кг	7,1	6,6	7,3	8,7	8,8	8,6	8,4
Время, ч	13	14	16	17	19	20	23
Темп., °С	23,6	23,7	22,6	21,0	18,4	16,3	11,8
Влажность, г/кг	8,4	8,5	8,3	8,5	8,2	8,4	7,3

На верхней границе ПСА температура и влажность постоянные и равны соответственно 4 °С и 4 г/кг.

## Контрольная работа № 2

Разработать алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния оболочечной конструкции с учетом физической нелинейности материала и/или его ползучести, а также реализовать его с применением современных технологий программирования.

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

Варианты заданий формируются изменением вида геометрии оболочки, материала, вида прикладываемой нагрузки, способа закрепления контура, используемого численного метода для минимизации функционала или решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

В качестве дополнительного задания возможна реализация в программе анализа прочности конструкции.

7.4. Теоретические вопросы и практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования результатов обучения и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы

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

1. Методы математического моделирования пограничного слоя атмосферы (ПСА).
2. Интегральные методы, моделирование осредненных полей, моделирование крупных вихрей.
3. Модель стационарного ПСА над горизонтально-неоднородной поверхностью.
4. Численное моделирование горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы.
5. Получение математических моделей на основе фундаментальных законов природы, вариационных принципах, принципе аналогий, иерархического подхода и др.
6. Нелинейность математических моделей.
7. Вариационные принципы Лагранжа, Гамильтона – Остроградского.
8. Перемещения точек твердого тела. Деформации. Напряжения. Нагрузки. Параметры материала. Связь характеристик между собой.
9. Линейно-упругая модель (геометрические соотношения, физические соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).
10. Нелинейно-упругая модель (геометрические соотношения, физические соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).
11. Модель с учетом ползучести материала (геометрические соотношения, физические соотношения, функционал полной потенциальной энергии деформации, уравнения равновесия).
12. Метод Ритца.
13. Метод Бубнова – Галеркина.
14. Метод конечных элементов.
15. Численное интегрирование.
16. Аппроксимация. Метод наименьших квадратов.
17. Аппроксимирующие функции в задачах механики.
18. Метод итераций. Метод Ньютона.
19. Алгоритм. Требования, предъявляемые к вычислительным алгоритмам при решении прикладных задач.
20. Разработка программного обеспечения для анализа прочности и устойчивости оболочечных конструкций.
21. Визуализация конструкций и их характеристик.
22. Критерий Ляпунова. Критерии прочности.
23. Методика решения задач прочности и устойчивости

24. Методология проведения вычислительного эксперимента.

25. Верификация полученных результатов.

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

1. Разработать компьютерную программу для анализа устойчивости оболочечных конструкций с учетом физической нелинейности. Найти критическую нагрузку потери устойчивости для стальной пологой оболочки двойкой кривизны с параметрами

$$a=b=60h, R_1=R_2=225h, h=0,09\text{м}, E=2,1\cdot 10^5\text{МПа}, \mu=0,3$$

Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная.

Построить график зависимости «нагрузка – прогиб» и поля перемещений и напряжений.

2. Найти решение задачи ползучести для геометрически нелинейной конической панели с параметрами

$$a_1=5\text{м}, a=25\text{м}, b=\pi/2, \theta=0,78, h=0,01\text{м}, E=2,1\cdot 10^4\text{МПа}, \mu=0,23.$$

Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная.

Провести анализ прочности, построить поля перемещений и напряжений.

7.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования результатов обучения и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Наименование оценочного средства
1	1.1-1.3	контрольная работа
2	2.1-2.2	контрольная работа
3	3.1-3.4	контрольная работа

#### 8. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Ссылка на экземпляр в ЭБС / количество экземпляров в НТБ экземпляров
<b>Основная литература</b>		
1	Компьютерные технологии расчета оболочек / А. Ю. Атисков [и др.]; Министерство образования и науки Российской Федерации, С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб.: [б. и.], 2012. – 184 с.	НТБ СПбГАСУ 23 экз.
2	Математические модели и вычислительный эксперимент в проблеме контроля и прогноза экологического состояния атмосферы [Электронный ресурс] : монография / В. И. Наац, И. Э. Наац, Р. А. Рыскаленко, Е. П. Ярцева. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 376 с. — 978-5-9296-0867-4.	<a href="http://www.iprbookshop.ru/69398.html">http://www.iprbookshop.ru/69398.html</a>
2	Губарь Ю.В. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]/ Губарь Ю.В.— Электрон. текстовые данные. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 178 с.	<a href="http://www.iprbookshop.ru/73662.html">http://www.iprbookshop.ru/73662.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>		

1	Карпов, В. В. Комплексный расчет элементов строительных конструкций в среде MATLAB [Текст]: учебное пособие / В. В. Карпов, Т. В. Рябикова ; Федеральное агентство по образованию, С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. - СПб.: [б. и.], 2009. - 136 с.	НТБ СПбГАСУ 225 экз.
2	Карпов В.В. Математическое моделирование, алгоритмы исследования модели, вычислительный эксперимент в теории оболочек [Текст]: учебное пособие / В. В. Карпов; Фед. агентство по образованию, Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет. - СПб.: [б. и.], 2006. - 330 с. : 59 ил., 8 табл.	НТБ СПбГАСУ 362 экз.

### 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
ЭБС издательства «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
ЭБС издательства «IPRsmart»	<a href="https://www.iprbookshop.ru/">https://www.iprbookshop.ru/</a>
Образовательная платформа «Юрайт»	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="https://www.elibrary.ru/defaultx.asp">https://www.elibrary.ru/defaultx.asp</a>
Сайт справочной правовой системы «Консультант Плюс»	<a href="https://www.consultant.ru">https://www.consultant.ru</a>
Единый электронный ресурс учебно-методической литературы СПбГАСУ	<a href="http://www.spbgasu.ru">www.spbgasu.ru</a>
Федеральный образовательный портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
Система дистанционного обучения СПбГАСУ Moodle	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/">https://moodle.spbgasu.ru/</a>
<b>Перечень профессиональных баз данных, необходимых для освоения дисциплины</b>	
Официальный сайт Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации.	<a href="http://vak.ed.gov.ru">vak.ed.gov.ru</a>
Реферативная и справочная база данных рецензируемой литературы Scopus	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
Политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных Web of Science	<a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
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 компании PTC, выпускающей математический пакет Mathcad	<a href="https://www.ptc.com/ru/products/mathcad">https://www.ptc.com/ru/products/mathcad</a>

### 10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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 текущему контролю успеваемости;
- подготовка к зачету.

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

В рамках самостоятельной работы по изучению дисциплины обучающимся необходимо:

- при самостоятельном изучении теоретической темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПД источники;
- ответить на контрольные вопросы по теме, используя материалы ФОС;
- подготовиться к промежуточной аттестации.

Итогом изучения дисциплины является зачет. Зачет проводится по расписанию. Форма проведения занятия может быть устная, письменная и в электронном виде. Обучающиеся, не прошедшие аттестацию, должны ликвидировать задолженность в установленном порядке.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

1. Проведение практических занятий с использованием презентационного материала (применение мультимедийных технологий);

2. Работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):

- электронными библиотечными системами;
- современными профессиональными базами данных (в том числе международными реферативными базами данных научных изданий);
- информационно-правовыми системами;
- иными информационно-справочными системами и ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»;

3. Работа с ресурсами локальной сети организации (при необходимости):

- информационно-правовыми системами Консультант и Гарант;
- информационно-правовой базой данных «Кодекс»;

4. Стандартное программное обеспечение персонального компьютера.

5. Программные комплексы для математических вычислений.

## **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Учебная аудитория (компьютерный класс) для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Комплект мультимедийного оборудования (экран, проектор, аудио-система, ноутбук); персональные компьютеры с доступом к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде организации; комплект учебной мебели.
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и	Комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер с доступом к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде

индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	организации, мультимедийный проектор, экран, аудиосистема); доска маркерная белая эмалевая. Комплект учебной мебели.
Помещения для самостоятельной работы обучающихся	Рабочие места с ПК (стол компьютерный, системный блок, монитор, клавиатура, мышь) с доступом к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде организации и электронным библиотечным системам.

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

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### 1. Методические указания для обучающегося по освоению дисциплины

Для формирования четкого представления об объеме и характере знаний и умений, которыми надо будет овладеть по дисциплине в самом начале учебного курса обучающийся должен ознакомиться с учебно-методической документацией:

- рабочей программой дисциплины: с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, перечнем знаний и умений, которыми в процессе освоения дисциплины должен владеть обучающийся,
- порядком проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации;
- графиком консультаций преподавателей кафедр.

Систематическое выполнение учебной работы на занятиях лекционных и семинарских типов, а также выполнение самостоятельной работы позволит успешно освоить дисциплину.

Кроме того, для успешного овладения дисциплиной необходимо выполнять следующие требования:

- посещать все лекционные и практические занятия, поскольку весь тематический материал взаимосвязан между собой;
- все рассматриваемые на лекциях и практических занятиях темы и вопросы обязательно фиксировать (либо на бумажных, либо на машинных носителях информации);
- обязательно выполнять все домашние задания, получаемые на лекциях или практических занятиях;
- проявлять активность на интерактивных лекциях и практических занятиях, а также при подготовке к ним. Необходимо помнить, что конечный результат овладения содержанием дисциплины необходим, в первую очередь, самому обучающемуся;
- в случаях пропуска занятий по каким-либо причинам, необходимо обязательно самостоятельно изучать соответствующий материал.

Существенным моментом для студента является возможность обсуждения и внесения предложений в тематический материал дисциплины. При этом необходим серьезный и глубокий критический анализ прочитанной научной литературы и содержания прослушанной по теме лекции.

#### 1.1. В процессе занятий лекционного типа обучающимся следует:

- слушать, конспектировать излагаемый преподавателем материал;
- ставить, обсуждать актуальные вопросы курса, быть активным на занятиях;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений;

При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале не удалось, то обратиться к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на занятиях семинарского типа.

#### 1.2. В процессе занятий семинарского типа:

Цель выполнения практических заданий по дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» – приобретение практических навыков

- исследования различных математических моделей экологических процессов и задач строительства;
- разработки численных методов решения возникающих задач, построения алгоритмов и написания программ, их реализующих.

Выполнение практических заданий требует от обучающегося предварительного изучения учебной и научной литературы и прочих информационных источников, в том числе периодических изданий и Интернет-ресурсов.

Обучающимся, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющим письменного решения задач или не подготовившимся к данному занятию, рекомендуется не позже, чем в 2 - недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме.

### 1.3. В процессе выполнения самостоятельной работы:

Под самостоятельной работой обучающихся понимается планируемая работа обучающихся, направленная на формирование указанных компетенций, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, без его непосредственного участия.

**Цель самостоятельной работы** по дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» – закрепить теоретические знания и практические навыки в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ в области экологических процессов и задач строительства.

Самостоятельная работа является неотъемлемой и важнейшей частью работы обучающихся, которая основана на более подробной проработке и анализе информации в изучаемой области. Поиск ответов на вопросы для самостоятельной работы в некоторых случаях предполагает не только изучение основной учебной литературы по дисциплине, но и привлечение дополнительной литературы по смежным дисциплинам, а также использование ресурсов сети Интернет. Ответы на вопросы для самостоятельной работы готовятся обучающимися самостоятельно и проверяются преподавателем на практических занятиях в ходе устного опроса, а также при проведении контрольных работ, текущего тестирования.

Самостоятельная работа предполагает разработку и решение задачи; поиск информации по теме; подготовку к тестированию.

Самостоятельная работа требует от обучающегося предварительного изучения литературы и прочих информационных источников, в том числе периодических изданий и Интернет-ресурсов.

**Таблица 1 - Перечень литературы и прочих информационных источников для самостоятельного изучения**

Название темы учебной дисциплины	Перечень литературы и прочих информационных источников для самостоятельного изучения
<p>Математическое моделирование экологических процессов                      Построение математических моделей на основе применения вариационных принципов                      Математические модели элементов строительных конструкций</p>	<p>Математические модели и вычислительный эксперимент в проблеме контроля и прогноза экологического состояния атмосферы [Электронный ресурс] / В.И. Наац [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016.— 376 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/69398.html">http://www.iprbookshop.ru/69398.html</a>                      Губарь Ю.В. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]/ Губарь Ю.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 178 с.— Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/73662.html">http://www.iprbookshop.ru/73662.html</a></p>
<p>Численные методы решения задач механики</p>	<p>Компьютерные технологии расчета оболочек / А. Ю. Атисков [и др.]; Министерство образования и</p>

<p>Численные методы решения нелинейных систем  Компьютерные технологии математического моделирования  Компьютерные модели деформирования элементов строительных конструкций  Методика исследования НДС, прочности и устойчивости элементов строительных конструкций  Вычислительный эксперимент в задачах строительства</p>	<p>науки Российской Федерации, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. – СПб.: [б. и.], 2012. – 184 с.  Карпов, В. В. Комплексный расчет элементов строительных конструкций в среде MATLAB [Текст]: учебное пособие / В. В. Карпов, Т. В. Рябикова ; Федеральное агентство по образованию, С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т. - СПб.: [б. и.], 2009. - 136 с.  Карпов В.В. Математическое моделирование, алгоритмы исследования модели, вычислительный эксперимент в теории оболочек [Текст]: учебное пособие / В. В. Карпов; Фед. агентство по образованию, Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет. - СПб.: [б. и.], 2006. - 330 с. : 59 ил., 8 табл.</p>
---	--