



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Начальник учебно-методического управления

С.В. Михайлов

«29» июня 2021г.

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

Компьютерное моделирование процесса деформирования элементов строительных конструкций

направление подготовки/специальность 01.03.02 Прикладная математика и информатика

направленность (профиль)/специализация образовательной программы Прикладная математика и информатика

Форма обучения очная

Санкт-Петербург, 2021

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

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

- знакомство с важнейшими понятиями теории тонкостенных элементов конструкций;
- изучение теоретических основ, приемов и методов современного компьютерного моделирования;
- выработка практических навыков разработки математических моделей деформирования элементов строительных конструкций;
- знакомство с современными компьютерными технологиями расчета оболочечных конструкций;
- применение математических программных комплексов для решения нелинейных задач теории оболочек;
- исследование математических моделей оболочек с применением современных компьютерных технологий;
- 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  |
|--|---|---|
| ПКС-4 Способность осуществлять научно-исследовательскую деятельность, связанную с разработкой математических моделей, алгоритмов, методов, программного обеспечения, в соответствии с профилем профессиональной деятельности | ПКС-4.1 знает основные понятия, методы и подходы теоретических и экспериментальных исследований в области математического моделирования | <b>знает</b><br>– теоретические основы моделирования как научного метода;<br>– основные принципы построения математических моделей;<br>– основные положения нелинейной теории элементов строительных конструкций.<br><b>умеет</b><br>– строить математические модели деформирования строительных конструкций;<br>– анализировать полученные результаты;<br>– применять основные приемы математического моделирования при решении задач различной природы.<br><b>владеет навыками</b><br>– методами формирования компьютерных моделей объектов;<br>– методами исследования компьютерных моделей. |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>ПКС-4 Способность осуществлять научно-исследовательскую деятельность, связанную с разработкой математических моделей, алгоритмов, методов, программного обеспечения, в соответствии с профилем профессиональной деятельности</p> | <p>ПКС-4.2 умеет ориентироваться в современных математических методах, вычислительной технике и информационных технологиях</p> | <p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы разработки прикладного программного обеспечения;</li> <li>– современные компьютерные технологии расчета строительных конструкций.</li> </ul> <p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– осуществлять компьютерное моделирование при решении задач различной природы.</li> </ul> <p><b>владеет навыками</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами формирования компьютерных моделей объектов;</li> <li>– методами исследования компьютерных моделей;</li> <li>– навыками разработки прикладного программного обеспечения.</li> </ul> |
| <p>ПКС-4 Способность осуществлять научно-исследовательскую деятельность, связанную с разработкой математических моделей, алгоритмов, методов, программного обеспечения, в соответствии с профилем профессиональной деятельности</p> | <p>ПКС-4.3 имеет навыки применения информационных технологий для решения прикладных задач</p>                                  | <p><b>знает</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы разработки прикладного программного обеспечения;</li> <li>– современные компьютерные технологии расчета строительных конструкций.</li> </ul> <p><b>умеет</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализировать полученные результаты;</li> <li>– осуществлять компьютерное моделирование при решении задач различной природы;</li> </ul> <p><b>владеет навыками</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами исследования компьютерных моделей;</li> <li>– навыками разработки прикладного программного обеспечения.</li> </ul>                 |

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

Данная дисциплина (модуль) включена в Блок «Дисциплины, модули» Б1.В.09 основной профессиональной образовательной программы 01.03.02 Прикладная математика и информатика и относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана.

| № п/п | Предшествующие дисциплины   | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|-------|---|--|
| 1     | Компьютерное и математическое моделирование   | ОПК-2.1, ОПК-3.1, ОПК-3.2                            |
| 2     | Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) | УК-1.1, УК-1.3, ПКС-4.1, ПКС-4.3                     |
| 3     | Программирование в математических пакетах   | ПКС-1.1  |
| 4     | Вариационное исчисление   | ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.2                            |
| 5     | Компьютерное моделирование в среде MatLab   | ОПК-2.2, ОПК-2.3                                     |
| 6     | Техническая механика  | ОПК-1.2, ОПК-1.3                                     |
| 7     | Алгоритмы и алгоритмические языки   | УК-1.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-4.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2  |
| 8     | Объектно-ориентированное программирование   | ПКС-1.1, ПКС-1.2, ПКС-1.3                            |

|   |                  |                           |
|---|------------------|---------------------------|
| 9 | Численные методы | ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.3 |
|---|------------------|---------------------------|

#### Компьютерное и математическое моделирование

- знать: основные виды элементов строительных конструкций;
- уметь: строить математические модели элементов строительных конструкций в линейной постановке;
- владеть: навыками разработки прикладного программного обеспечения и компьютерного моделирования.

Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)

- знать: методологию проведения вычислительного эксперимента;
- уметь: проводить исследования с использованием ЭВМ;
- владеть: навыком описания полученных результатов.

#### Объектно-ориентированное программирование

- знать: современные технологии разработки программного обеспечения;
- уметь: программировать в среде MS Visual Studio;
- владеть: навыками отладки программ.

#### Программирование в математических пакетах

- знать: основные возможности программ для математических вычислений (Maple, MatLab);
- уметь: составлять программы в математических пакетах Maple и MatLab;
- владеть: навыками работы со справкой в математических пакетах Maple и MatLab.

#### Вариационное исчисление

- знать: вариационные методы и вариационные принципы механики;
- уметь: делать вариационные преобразования;
- владеть: навыками работы с функционалами энергии.

#### Численные методы

- знать: численные методы решения систем уравнений и численного интегрирования, их погрешности;
- уметь: применять численные методы к поставленным задачам;
- владеть: навыками реализации численных методов на ЭВМ.

#### Дифференциальные уравнения

- знать: методы решения дифференциальных уравнений;
- уметь: решать задачи Коши для систем уравнений;
- владеть: навыками математических преобразований дифференциальных уравнений.

#### Компьютерное моделирование в среде MatLab

- знать: возможности компьютерного моделирования в среде MatLab;
- уметь: решать поставленные задачи в ПО MatLab;
- владеть: навыками символьных преобразований в среде MatLab.

#### Техническая механика

- знать: основные характеристики напряженно-деформированного состояния элементов конструкций;
- уметь: строить эпюры напряжений;
- владеть: пониманием того, как деформируются элементы строительных конструкций.

#### Алгоритмы и алгоритмические языки

- знать: алгоритмы для разработки программного обеспечения;
- уметь: реализовывать алгоритмы на языке программирования;

| № п/п | Последующие дисциплины | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|-------|------------------------|--|
|-------|------------------------|--|



|      |  |   |  |  |  |  |    |  |           |       |                                 |
|------|--|---|--|--|--|--|----|--|-----------|-------|---------------------------------|
| 1.   | 1 раздел. Компьютерное моделирование процесса деформирования элементов строительных конструкций                      |   |  |  |  |  |    |  |           |       |                                 |
| 1.1. | Математические модели деформирования элементов строительных конструкций в геометрически нелинейной постановке        | 7 |  |  |  |  | 10 |  | 12        | 22    | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2             |
| 1.2. | Основные характеристики элементов строительных конструкций   | 7 |  |  |  |  | 4  |  | 4         | 8     | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2             |
| 1.3. | Методика решения нелинейных задач для элементов строительных конструкций   | 7 |  |  |  |  | 18 |  | 12        | 30    | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2             |
| 1.4. | Компьютерные технологии расчета элементов строительных конструкций   | 7 |  |  |  |  | 6  |  | 2         | 8     | ПКС-4.2,<br>ПКС-4.3             |
| 1.5. | Методика исследования прочности элементов строительных конструкций   | 7 |  |  |  |  | 6  |  | 6         | 12    | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2             |
| 1.6. | Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций | 7 |  |  |  |  | 20 |  | 15,7<br>5 | 35,75 | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2,<br>ПКС-4.3 |
| 2.   | 2 раздел. Иная контактная работа   |   |  |  |  |  |    |  |           |       |                                 |
| 2.1. | Иная контактная работа   | 7 |  |  |  |  |    |  |           | 1,25  | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2,<br>ПКС-4.3 |
| 3.   | 3 раздел. Контроль   |   |  |  |  |  |    |  |           |       |                                 |
| 3.1. | Экзамен  | 7 |  |  |  |  |    |  |           | 27    | ПКС-4.1,<br>ПКС-4.2,<br>ПКС-4.3 |

### 5.1. Лабораторные работы

| № п/п | Наименование раздела и темы лабораторных работ  | Наименование и содержание лабораторных работ   |
|-------|---|--|
| 1     | Математические модели деформирования элементов строительных конструкций в геометрически нелинейной постановке | Геометрические соотношения для балок, плит, оболочечных конструкций с учетом геометрической нелинейности. Физические соотношения линейно-упругих балок, плит и оболочек. Усилия, моменты, поперечные силы. Функционал полной потенциальной энергии деформации конструкции. Модель деформирования типа Тимошенко. Учет поперечных сдвигов. Гипотезы. Вывод из функционала энергии уравнений равновесия. |
| 2     | Основные характеристики элементов строительных конструкций  | Виды балок и плит. Параметры Ляме. Пологие оболочки двоякой кривизны прямоугольного плана, цилиндрические, конические, сферические, тороидальные оболочки и панели. Способы  |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | конструкций  | закрепления контура. Виды прикладываемых нагрузок.   |
| 3 | Методика решения нелинейных задач для элементов строительных конструкций   | Метод Ритца для минимизации функционала полной энергии деформации, градиентный метод, метод Бубнова – Галеркина для решения уравнений равновесия. Методы решения нелинейных алгебраических уравнений и их систем: метод продолжения решения по параметру, метод Ньютона, итерационный метод. Метод Эйлера для решения задачи Коши.<br>Методика исследования устойчивости элементов строительных конструкций. Метод Ляпунова. Графики зависимостей «нагрузка – перемещение». Нахождение верхних и нижних критических нагрузок. Исследование особых точек при решении задач устойчивости. Исследование определителя матрицы Якоби. |
| 4 | Компьютерные технологии расчета элементов строительных конструкций   | Конечноэлементные программные комплексы общего назначения. Математические пакеты Maple, MatLab. Возможности распараллеливания процессов вычислений. Узкоспециализированное программное обеспечение.  |
| 5 | Методика исследования прочности элементов строительных конструкций   | Изотропные и ортотропные материалы. Особенности деформирования конструкций из ортотропных материалов. Критерии прочности. Критерии Мизеса и Кулона – Мора. Критерии Мизеса – Хилла, Гольденבלата – Копнова, максимальных напряжений. Анализ состояния материала конструкции на каждом этапе нагружения.  |
| 6 | Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций | Выполнение расчетов. Анализ устойчивости и прочности. Построение полей прогибов и напряжений с применением программного пакета Maple. Программа визуализации полей прогибов и напряжений. Выявление закономерностей, анализ результатов.   |

## 5.2. Самостоятельная работа обучающихся

| № п/п | Наименование раздела дисциплины и темы  | Содержание самостоятельной работы   |
|-------|---|---|
| 1     | Математические модели деформирования элементов строительных конструкций в геометрически нелинейной постановке | Изучение теоретического материала. Выполнение преобразований математической модели. Вывод уравнений равновесия. |
| 2     | Основные характеристики элементов строительных конструкций  | Изучение теоретического материала.  |
| 3     | Методика решения  |   |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   | нелинейных задач для элементов строительных конструкций  | Работа над курсовым проектом. Применение к математической модели численных методов.                   |
| 4 | Компьютерные технологии расчета элементов строительных конструкций   | Работа с программным обеспечением.  |
| 5 | Методика исследования прочности элементов строительных конструкций   | Изучение теоретического материала. Работа над курсовым проектом.                                      |
| 6 | Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций | Работа над курсовым проектом. Выполнение расчетов и анализ результатов. Оформление курсового проекта. |



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

Программой дисциплины предусмотрено проведение лабораторных занятий, предполагающих 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;
- 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. На лабораторных занятиях материал закрепляется при выполнении заданий.

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 на ранее 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     | Математические модели деформирования элементов строительных конструкций в геометрически нелинейной постановке | ПКС-4.1, ПКС-4.2   | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |
| 2     | Основные характеристики элементов строительных конструкций  | ПКС-4.1, ПКС-4.2   | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |
| 3     | Методика решения нелинейных задач для элементов строительных конструкций                                      | ПКС-4.1, ПКС-4.2   | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |

|   |  |                           |  |
|---|--|---------------------------|--|
| 4 | Компьютерные технологии расчета элементов строительных конструкций   | ПКС-4.2, ПКС-4.3          | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |
| 5 | Методика исследования прочности элементов строительных конструкций   | ПКС-4.1, ПКС-4.2          | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |
| 6 | Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций | ПКС-4.1, ПКС-4.2, ПКС-4.3 | Индивидуальное задание. Тест. Поэтапный контроль выполнения курсового проекта. |
| 7 | Иная контактная работа   | ПКС-4.1, ПКС-4.2, ПКС-4.3 |  |
| 8 | Экзамен  | ПКС-4.1, ПКС-4.2, ПКС-4.3 |  |

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

Примеры индивидуальных заданий (ПКС-4.3):

1. Разработать компьютерную программу для решения геометрически нелинейной задачи для стальной балки с заданными параметрами. Использовать метод итераций и метод Ритца.

2. Разработать компьютерную программу для анализа устойчивости оболочечных конструкций. Найти критическую нагрузку потери устойчивости для стальной полой оболочкой двоякой кривизны с заданными параметрами с учетом геометрической нелинейности. Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная. Построить график зависимости «нагрузка – прогиб» и поля перемещений и напряжений.

3. Найти решение задачи устойчивости для геометрически нелинейной конической панели с заданными параметрами. Закрепление контура – шарнирно неподвижное, нагрузка равномерно распределенная. Провести анализ прочности, построить поля перемещений и напряжений.

Примеры тестовых заданий (ПКС-4.1, ПКС-4.2)

1. Геометрически нелинейные соотношения подразумевают квадратичные члены

Выберите один ответ:

- a. Параметров Ляме
- b. Перемещения W
- c. Перемещения V
- d. Перемещения U

2. При исследовании устойчивости оболочки используют критерий

Выберите один ответ:

- a. Ляпунова
- b. Бубнова-Галеркина
- c. Власова
- d. Ритца

3. Для сведения вариационной задачи к системе алгебраических уравнений используется метод

Выберите один ответ:

- a. Бубнова-Галеркина
- b. Эйлера
- c. Ритца

d. Власова-Канторовича

4. При использовании теории оболочек, основанной на Гипотезе прямой нормали, сколько краевых условий должно быть заложено?

Выберите один ответ:

- a. 16
- b. 2
- c. 4
- d. 8

5. Для решения системы нелинейных алгебраических уравнений при исследовании устойчивости оболочек не применяется метод

Выберите один ответ:

- a. Продолжения по параметру
- b. Эйлера
- c. Рунге-Кутта
- d. Последовательных приближений

6. Критическая нагрузка увеличивается, если...

Выберите один ответ:

- a. Увеличить линейные размеры
- b. Увеличить число краевых условий
- c. Уменьшить радиус кривизны
- d. Уменьшить толщину оболочки

7. Метод решения нелинейных задач теории оболочки подразумевает определить напряженно-деформированное состояние при ...

Выберите один ответ:

- a. одной заданной нагрузке  $q$
- b. Последовательном многократном увеличении нагрузки  $q$  с шагом  $\Delta q$
- c. двух заданных нагрузках  $q_1$  и  $q_2$

8. Уравнения равновесия теории оболочек, основанной на гипотезе прямой нормали, состоит из

Выберите один ответ:

- a. двух уравнений
- b. одного уравнения
- c. трех уравнений
- d. четырех уравнений

9. Уравнения равновесия содержат неизвестных функций

Выберите один ответ:

- a. четыре
- b. три
- c. одну
- d. две

10. Системой уравнений теории оболочек, основанной на гипотезе прямой нормали, является система дифференциальных уравнений

Выберите один ответ:

- a. 6-го порядка
- b. 4-го порядка
- c. 8-го порядка
- d. 2-го порядка

Ответы на тестовые задания

№ вопроса ответ

1 б

2 а

3 с

4 а

5 с

6 с

7 б

8 с

9 б

10 с

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

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <p>Оценка «отлично»<br/>(зачтено)</p> | <p>знания:<br/>- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;<br/>- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;<br/>- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</p> <p>умения:<br/>- умеет ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин</p> <p>навыки:<br/>- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;<br/>- владеет навыками самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;<br/>- применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий;<br/>- грамотно обосновывает ход решения задач;<br/>- безупречно владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;<br/>- творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активно участвует в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий</p> |
|---------------------------------------|--|

|  |  |
|--|--|
| <p>Оценка «хорошо»<br/>(зачтено)</p>                 | <p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине;</li> <li>- 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 основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку;</li> <li>- использует научную терминологию, лингвистически и логически правильно излагает ответы на вопросы, умеет делать обоснованные выводы;</li> <li>- владеет инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач</li> </ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;</li> <li>- средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li> <li>- без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий;</li> <li>- обосновывает ход решения задач без затруднений</li> </ul> |
| <p>Оценка «удовлетворительно»<br/>(зачтено)</p>      | <p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- достаточный минимальный объем знаний по дисциплине;</li> <li>- усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой;</li> <li>- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок</li> </ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку;</li> <li>- владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач;</li> <li>- умеет под руководством преподавателя решать стандартные задачи</li> </ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий;</li> <li>- достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li> <li>- испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий</li> </ul>  |
| <p>Оценка «неудовлетворительно»<br/>(не зачтено)</p> | <p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- фрагментарные знания по дисциплине;</li> <li>- отказ от ответа (выполнения письменной работы);</li> <li>- знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине;</li> </ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- не умеет использовать научную терминологию;</li> <li>- наличие грубых ошибок</li> </ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- низкий уровень культуры исполнения заданий;</li> <li>- низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li> <li>- отсутствие навыков самостоятельной работы;</li> <li>- не может обосновать алгоритм выполнения заданий</li> </ul>   |

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 экзамену:

1. Геометрические соотношения для балок и плит с учетом геометрической нелинейности.
2. Геометрические соотношения для оболочечных конструкций с учетом геометрической нелинейности.
3. Физические соотношения линейно-упругих балок и плит.
4. Физические соотношения линейно-упругих оболочек.
5. Усилия, моменты, поперечные силы.
6. Функционал полной потенциальной энергии деформации конструкции.
7. Модель деформирования типа Тимошенко. Учет поперечных сдвигов.
8. Вывод из функционала энергии уравнений равновесия.
9. Виды балок, плит и оболочек. Параметры Ляме.
10. Способы закрепления контура. Виды прикладываемых нагрузок.
11. Метод Ритца.
12. Метод Бубнова – Галеркина.
13. Методы решения нелинейных алгебраических уравнений и их систем.
14. Метод Эйлера для решения задачи Коши.
15. Методика исследования устойчивости элементов строительных конструкций.
16. Метод Ляпунова. Графики зависимостей «нагрузка – перемещение». Нахождение верхних и нижних критических нагрузок.
17. Исследование особых точек при решении задач устойчивости. Исследование определителя матрицы Якоби.
18. Конечноэлементные программные комплексы общего назначения.
19. Математические пакеты Maple, MatLab.
20. Изотропные и ортотропные материалы. Особенности деформирования конструкций из ортотропных материалов.
21. Критерии прочности.
22. Визуализация полей прогибов и напряжений.
23. Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций.
24. Математические модели деформирования элементов строительных конструкций в геометрически нелинейной постановке.
25. Основные характеристики элементов строительных конструкций.
26. Методика решения нелинейных задач для элементов строительных конструкций.
27. Вычислительный эксперимент по компьютерному моделированию процесса деформирования элементов строительных конструкций.

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

Пример задания:

Используя среду аналитических вычислений Maple, разработать компьютерную программу для решения геометрически нелинейной задачи для стальной балки с параметрами  $h=0.01 \cdot N$  м,  $l=N$  м,  $E=2.1 \cdot 10^5$  МПа, где  $N$  – номер билета. Использовать метод итераций и метод Ритца.

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

Курсовой проект «Компьютерное моделирование процесса деформирования элементов строительных конструкций». Студенты должны разработать алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния оболочечной конструкции с учетом геометрической нелинейности, а также реализовать его с применением современных технологий программирования. Должно быть разработано узкоспециализированное прикладное программное обеспечение.

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

Варианты заданий формируются изменением вида геометрии оболочки, 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.

7.5. 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 курсового проекта и экзамена.

Курсовой проект защищается студентом.

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»  |  |  |
|                     | Уровень освоения компетенции «недостаточный». Компетенции не сформированы. Знания отсутствуют, умения и навыки не сформированы | Уровень освоения компетенции «пороговый». Компетенции сформированы. Сформированы базовые структуры знаний. Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер. Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка. | 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. | 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 |
|                     |  |  |  |  |

|        |   |  |  |  |
|--------|---|--|--|--|
| знания | <p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-существенные пробелы в знаниях учебного материала;</li> <li>-допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий;</li> <li>-непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета.</li> </ul> | <p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-знания теоретического материала;</li> <li>-неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов;</li> <li>-неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.</li> </ul> | <p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала;</li> <li>- знания теоретического материала</li> <li>-способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития;</li> <li>-правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы.</li> </ul> | <p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала;</li> <li>-полное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий, в рамках обсуждаемых заданий;</li> <li>-способность устанавливать и объяснять связь практики и теории,</li> <li>-логически последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора.</li> </ul> |
| умения | <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>   |



|                   |  |   |   |  |
|-------------------|--|---|---|--|
| владение навыками | <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><u>Основная литература</u></b>       |   |  |
| 1                                       | Карпов В. В., Панин А. Н., Математическое моделирование и расчет элементов строительных конструкций, СПб., 2013                     | ЭБС  |
| 2                                       | Карпов В. В., Баранова Д. А., Беркалиев Р. Т., Программный комплекс исследования устойчивости оболочек, СПб.: СПбГАСУ, 2009         | ЭБС  |
| 3                                       | Атисков А. Ю., Баранова Д. А., Карпов В. В., Москаленко Л. П., Семенов А. А., Компьютерные технологии расчета оболочек, СПб., 2012  | ЭБС  |
| 4                                       | Карпов В. В., Математическое моделирование, алгоритмы исследования модели, вычислительный эксперимент в теории оболочек, СПб., 2006 | ЭБС  |
| <b><u>Дополнительная литература</u></b> |   |  |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Каюмов Р. А., Конспект лекций «Основы теории упругости и элементы теории пластин и оболочек», Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015 | ЭБС |
| 2 | Горшков А. А., Астахова А. Я., Цыбин Н. Ю., Основы теории упругих тонких оболочек, Москва: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016        | ЭБС |
| 3 | Лукашевич А. А., Теория расчета пластин и оболочек, Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017                        | ЭБС |
| 4 | Петров В. В., Теория расчета пластин и оболочек, М.: АСВ, 2018   | 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>           |

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

| Наименование  | Электронный адрес ресурса   |
|---|---|
| Система дистанционного обучения СПбГАСУ Moodle          | <a href="https://moodle.spbgasu.ru/">https://moodle.spbgasu.ru/</a>       |
| Электронно-библиотечная система издательства "ЮРАЙТ"    | <a href="https://www.biblio-online.ru/">https://www.biblio-online.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"   |

#### 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.