

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Кафедра «Кораблестроение»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

 И.В. Макурин  
2018 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций»

образовательной программы подготовки магистров  
по направлению 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника  
и системотехника объектов морской инфраструктуры»  
направленность (профиль) – Проектирование судовых корпусных конструк-  
ций, систем и устройств

Форма обучения

Очная

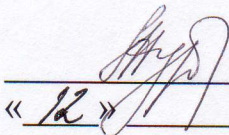
Технология обучения

Традиционная

Комсомольск-на-Амуре 2018

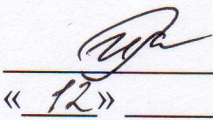


Автор рабочей программы  
доцент каф. «Кораблестроение»,  
канд. физ.-мат. наук

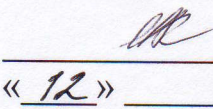
 И.Н. Журбина  
« 12 » 05 2017 г.

## СОГЛАСОВАНО

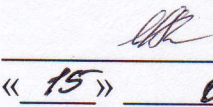
Директор библиотеки

 И.А. Романовская  
« 12 » 05 2017 г.

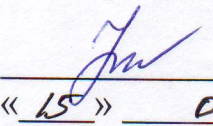
Заведующий кафедрой  
«Кораблестроение»

 Н.А. Тарануха  
« 12 » 05 2017 г.

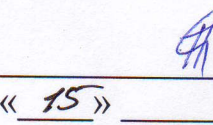
Заведующий выпускающей кафедрой  
«Кораблестроение»

 Н.А. Тарануха  
« 15 » 05 2017 г.

Декан факультета энергетики, транс-  
порта и морских технологий

 А.В. Космынин  
« 15 » 05 2017 г.

Начальник учебно-методического  
управления

 Е.Е. Поздеева  
« 15 » 05 2017 г.

## Введение

Рабочая программа дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.03.2015 № 303, и основной профессиональной образовательной программы подготовки магистров по направлению 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры».

## 1 Аннотация дисциплины

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------------------|--------|-------------------------------|----------------------|
| Наименование дисциплины       | Численные методы оценки прочности судовых конструкций                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
| Цель дисциплины               | Формирование у студентов основных знаний о современных численных методах, готовности к самостоятельному изучению и внедрению этих методов в профессиональную сферу деятельности, а также развитие основных идей этих методов.                                                                                                                                       |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
| Задачи дисциплины             | – формирование понимания стратегии развития численных методов оценки прочности судовых конструкций;<br>– формирование знаний в области современных численных методов вообще и применительно к кораблестроению в частности;<br>– формирование умений, навыков и компетенций в области конкретного применения численных методов оценки прочности судовых конструкций. |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
| Основные разделы дисциплины   | 1. Понятие о численных методах в ряду других методов (экспериментальные, аналитические, численные);<br>2. Сеточные методы;<br>3. Метод конечных элементов;<br>4. Метод суперэлементов;<br>5. Метод модуль-элементов;<br>6. Сопоставление численных методов, выявление их достоинств и недостатков.                                                                  |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
| Общая трудоемкость дисциплины | 3 з.е. / 108 академических часов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |              |              |                          |        |                               |                      |
|                               | Се-местр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Аудиторная нагрузка, ч |              |              |                          | СРС, ч | Промежу-точная атте-стация, ч | Всего за се-местр, ч |
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Лек-ции                | Пр. заня-тия | Лаб. рабо-ты | Курсовое проектирова-ние |        |                               |                      |
|                               | 3 се-местр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -                      | 8            | -            | -                        | 100    | -                             | 108                  |
| ИТОГО:                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -                      | 8            | -            | -                        | 100    | -                             | 108                  |

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Дисциплина «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» нацелена на формирование компетенций, знаний, умений и навыков, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, знания, умения, навыки

| Наименование и шифр компетенции, в формировании которой принимает участие дисциплина                                                                                                                                                                                                    | Перечень формируемых знаний, умений, навыков, предусмотренных образовательной программой                                                                                                      |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Перечень знаний (с указанием шифра)                                                                                                                                                           | Перечень умений (с указанием шифра)                                                                                                                                             | Перечень навыков (с указанием шифра)                                                                                                                                                                 |
| <b>ПК-21</b> Способностью выполнять математическое (компьютерное) моделирование и оптимизацию параметров объектов морской (речной) техники на базе разработанных и имеющихся средств исследования и проектирования, включая стандартные и специализированные пакеты прикладных программ | <b>З1(ПК-21-3)</b><br>Знания теоретических основ и методологии построения расчетных моделей с помощью численных методов, применяемых для оценки прочностных характеристик судовых конструкций | <b>У1(ПК-21-3)</b><br>Уметь использовать навыки построения численных моделей и работы с программными комплексами для исследования прочностных характеристик судовых конструкций | <b>Н1(ПК-21-3)</b><br>Владеть: навыками практического применения численных методов и средств математического (компьютерного) моделирования для расчета прочностных характеристик судовых конструкций |

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

Дисциплина «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» изучается на 3 курсе во 2 семестре.

Дисциплина является вариативной, входит в состав блока Б1 «Дисциплины (модули)» и относится к обязательным дисциплинам вариативной части.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения, навыки, сформированные на предыдущих этапах освоения компетенции ПК-21 «Способностью выполнять математическое (компьютерное) моделирование и оптимизацию параметров объектов морской (речной) техники на базе разработанных и имеющихся средств исследования и проектирования, включая стандартные и специализированные пакеты прикладных программ».

Формирование ПК-21 осуществляется в рамках трех последовательных этапов:

**1 этап - код этапа: ПК-21-1** Моделирование процессов создания и эксплуатации морской техники;



**2 этап - код этапа: ПК-21-2** Проектирование океанотехники (Системы автоматизированного проектирования и расчета); Моделирование процессов создания и эксплуатации морской техники; Учебная практика (практика по получению первичных профессиональных умений и навыков);

**3 этап - код этапа: ПК-21-3** Численные методы оценки прочности судовых конструкций; Проблемы гидромеханики и теории корабля // Гидроупругость судовых конструкций.

Результаты освоения дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» используются при дальнейшем освоении дисциплины «Проблемы гидромеханики и теории корабля // Гидроупругость судовых конструкций», при выполнении выпускной квалификационной работы, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

Входной контроль не проводится.

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

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

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

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

| <b>Объем дисциплины</b>                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Всего академических часов</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Общая трудоемкость дисциплины                                                                                                                                                                                                                                           | <b>108</b>                       |
| <b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий), всего</b>                                                                                                                                                                      | <b>8</b>                         |
| В том числе:                                                                                                                                                                                                                                                            |                                  |
| <b>Занятия семинарского типа</b> (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)                                                                                                                              | 8                                |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся и контактная работа</b> , включающая групповые консультации, индивидуальную работу обучающихся с преподавателями (в том числе индивидуальные консультации); взаимодействие в электронной информационно-образовательной среде вуза | <b>100</b>                       |
| Промежуточная аттестация обучающихся                                                                                                                                                                                                                                    | -                                |

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

Таблица 3 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

| Наименование разделов, тем и содержание материала                                                                                                                      | Компонент учебного плана                          | Трудоемкость (в часах) | Форма проведения                               | Планируемые (контролируемые) результаты освоения |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                                        |                                                   |                        |                                                | Компетенции                                      | Знания, умения, навыки     |
| Раздел 1. Понятие о численных методах в ряду других методов (экспериментальные, аналитические, численные)                                                              |                                                   |                        |                                                |                                                  |                            |
| <b>Тема:</b> Численные методы в ряду других методов. Состояние вопроса и задачи исследования.<br><b>Тема:</b> Основные этапы исследования поведения деформируемых тел. | Практическое занятие                              | 1                      | Выполнение заданий на ПК в среде MathCAD       | ПК-21                                            | У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                                                                                                     | Подготовка к практическим занятиям                | 1                      | Ознакомиться с тематикой практического занятия | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3) |
|                                                                                                                                                                        | Самостоятельное изучение теоретического материала | 9                      | Чтение основной и дополнительной литературы    |                                                  | 31(ПК-21-3)                |
| <b>ИТОГО по разделу 1</b>                                                                                                                                              | Практические занятия                              | <b>1</b>               | -                                              | -                                                | -                          |
|                                                                                                                                                                        | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>10</b>              | -                                              | -                                                | -                          |
| Раздел 2. Сеточные методы                                                                                                                                              |                                                   |                        |                                                |                                                  |                            |
| <b>Тема:</b> Методы решения многомерных краевых задач: коллокаций и сеток.<br><b>Тема:</b> Применение метода сеток для решения двумерных краевых задач.                | Практическое занятие                              | 4                      | Выполнение заданий на ПК в среде MathCAD       | ПК-21                                            | У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                                                                                                     | Подготовка к практическим занятиям                | 4                      | Ознакомиться с                                 | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3) |

| Наименование разделов, тем и содержание материала                                                                                                                            | Компонент учебного плана                          | Трудоемкость (в часах) | Форма проведения                               | Планируемые (контролируемые) результаты освоения |                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                              |                                                   |                        |                                                | Компетенции                                      | Знания, умения, навыки                    |
|                                                                                                                                                                              | ским занятиям                                     |                        | тематикой практического занятия                |                                                  |                                           |
|                                                                                                                                                                              | Самостоятельное изучение теоретического материала | 31,5                   | Чтение основной и дополнительной литературы    | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)                               |
|                                                                                                                                                                              | Выполнение РГР                                    | 9,5                    | Выполнение индивидуальных заданий РГР          | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |
| <b>ИТОГО по разделу 2</b>                                                                                                                                                    | Практические занятия                              | <b>4</b>               | -                                              | -                                                | -                                         |
|                                                                                                                                                                              | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>45</b>              | -                                              | -                                                | -                                         |
| <b>Раздел 3. Метод конечных элементов (МКЭ)</b>                                                                                                                              |                                                   |                        |                                                |                                                  |                                           |
| <b>Тема:</b> Схема практического применения метода конечных элементов в расчетах прочности.<br><b>Тема:</b> Расчет конструкций средней сложности методом конечных элементов. | Практическое занятие                              | 2                      | Традиционная                                   | ПК-21                                            | У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3)                |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                                                                                                           | Подготовка к практическим занятиям                | 1                      | Ознакомиться с тематикой практического занятия | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3)                |
|                                                                                                                                                                              | Самостоятельное изучение теоретического материала | 9                      | Чтение основной и дополнительной литературы    | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)                               |
|                                                                                                                                                                              | Выполнение РГР                                    | 9                      | Выполнение индивидуальных                      | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |

| Наименование разделов, тем и содержание материала                                       | Компонент учебного плана                          | Трудоемкость (в часах) | Форма проведения                               | Планируемые (контролируемые) результаты освоения |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|                                                                                         |                                                   |                        |                                                | Компетенции                                      | Знания, умения, навыки     |
|                                                                                         |                                                   |                        | ных заданий РГР                                |                                                  |                            |
| <b>ИТОГО по разделу 3</b>                                                               | Практические занятия                              | <b>2</b>               | -                                              | -                                                | -                          |
|                                                                                         | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>19</b>              | -                                              | -                                                | -                          |
| <b>Раздел 4. Метод суперэлементов</b>                                                   |                                                   |                        |                                                |                                                  |                            |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                      | Подготовка к практическим занятиям                | 0,5                    | Ознакомиться с тематикой практического занятия | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3) |
|                                                                                         | Самостоятельное изучение теоретического материала | 9                      | Чтение основной и дополнительной литературы    | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)                |
| <b>ИТОГО по разделу 4</b>                                                               | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>9,5</b>             | -                                              | -                                                | -                          |
| <b>Раздел 5. Метод модуль-элементов (ММЭ)</b>                                           |                                                   |                        |                                                |                                                  |                            |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                      | Подготовка к практическим занятиям                | 0,5                    | Ознакомиться с тематикой практического занятия | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3) |
|                                                                                         | Самостоятельное изучение теоретического материала | 9                      | Чтение основной и дополнительной литературы    | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3) |
| <b>ИТОГО по разделу 5</b>                                                               | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>9,5</b>             | -                                              | -                                                | -                          |
| <b>Раздел 6. Сопоставление численных методов, выявление их достоинств и недостатков</b> |                                                   |                        |                                                |                                                  |                            |
| <b>Тема:</b> Сопоставление численных методов.                                           | Практическое занятие                              | 1                      | Традиционная                                   | ПК-21                                            | У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |



| Наименование разделов, тем и содержание материала                                                                        | Компонент учебного плана                          | Трудоемкость (в часах) | Форма проведения                               | Планируемые (контролируемые) результаты освоения |                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                          |                                                   |                        |                                                | Компетенции                                      | Знания, умения, навыки                    |
| Самостоятельная работа обучающихся                                                                                       | Подготовка к практическим занятиям                | 1                      | Ознакомиться с тематикой практического занятия | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3)                |
|                                                                                                                          | Самостоятельное изучение теоретического материала | 4,5                    | Чтение основной и дополнительной литературы    | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)                               |
|                                                                                                                          | Выполнение РГР                                    | 1,5                    | Выполнение индивидуальных заданий РГР          | ПК-21                                            | 31(ПК-21-3)<br>У1(ПК-21-3)<br>Н1(ПК-21-3) |
| <b>ИТОГО по разделу 6</b>                                                                                                | Практические                                      | <b>1</b>               | -                                              | -                                                | -                                         |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа обучающихся                | <b>7</b>               | -                                              | -                                                | -                                         |
| <b>Промежуточная аттестация по дисциплине - зачет</b>                                                                    |                                                   |                        |                                                |                                                  |                                           |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>                                                                                               | Практические занятия                              | 8                      | -                                              | -                                                | -                                         |
|                                                                                                                          | Самостоятельная работа обучающихся                | 100                    | -                                              | -                                                | -                                         |
| <b>ИТОГО:</b> общая трудоемкость дисциплины 108 часов,<br>в том числе с использованием активных методов обучения 8 часов |                                                   |                        |                                                |                                                  |                                           |

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

Самостоятельная работа обучающихся, осваивающих дисциплину «Численные методы оценки прочности судовых конструкций», состоит из следующих компонентов: подготовка к практическим занятиям; подготовка к собеседованию; подготовка и оформление расчётно-графической работы.

Для успешного выполнения всех разделов самостоятельной работы учащимся рекомендуется использовать следующее учебно-методическое обеспечение:

1. Основы численных методов в задачах прочности судовых конструкций. Сеточные методы. Метод суперэлементов. Метод граничных элементов. Метод конечных элементов : учебное пособие для вузов / под общ. ред. Н. А. Таранухи. – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. ун-та, 2017. – 97 с.

2. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» / сост. : И. Н. Журбина. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – 7 с.

3. Исследование прочности балки тремя численными методами : метод. указания к расчётно-графической работе по курсу «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» / сост. : И. Н. Журбина. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – 6 с.

***Общие рекомендации по организации самостоятельной работы:***

Время, которым располагает студент для выполнения учебного плана, складывается из двух составляющих: одна из них – это аудиторная работа в вузе по расписанию занятий, другая – внеаудиторная самостоятельная работа. Задания и материалы для самостоятельной работы выдаются во время учебных занятий по расписанию, на этих же занятиях преподаватель осуществляет контроль за самостоятельной работой, а также оказывает помощь студентам по правильной организации работы.

Чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 5-7 часов в неделю. Начинать самостоятельные внеаудиторные занятия следует с первых же дней семестра. Первые дни семестра очень важны для того, чтобы включиться в работу, установить определенный порядок, равномерный ритм на весь семестр. Ритм в работе – это ежедневные самостоятельные занятия, желательно в одни и те же часы, при целесообразном чередовании занятий с перерывами для отдыха.

При выполнении самостоятельной работы необходимо перед практическим занятием выполнить обзор и анализ литературы и источников из интернета по теме занятия и текущего раздела работы, определить вопросы к преподавателю.

Важно выполнять, закреплять и оформлять рассмотренные на практическом занятии вопросы и разделы самостоятельной работы, а также рекомендации преподавателя непосредственно после занятия (в течение 1-2 дней). В этом случае исключается забывание информации. На последней стадии работы (в конце семестра) следует выполнить анализ разделов самостоятельной работы, скорректировать их и сделать выводы.

Следует правильно организовать свои занятия по времени: 50 минут – работа, 5-10 минут – перерыв; после 3 часов работы перерыв – 20-25 минут. Иначе нарастающее утомление повлечет неустойчивость внимания. Очень существенным фактором, влияющим на повышение умственной работоспособности, являются систематические занятия физической культурой. Организация активного отдыха предусматривает чередование умственной и физической деятельности, что полностью восстанавливает работоспособность человека.

Таблица 4 – Рекомендуемый график выполнения самостоятельной работы студентов при 16-недельном семестре

| Вид самостоя-<br>тельной работы                      | Часов в неделю |            |            |            |            |          |            |            |            |            |            |            |          |          |            |          | Итого по видам<br>работ |
|------------------------------------------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|------------|----------|-------------------------|
|                                                      | 1              | 2          | 3          | 4          | 5          | 6        | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13       | 14       | 15         | 16       |                         |
| Подготовка к<br>практическим<br>занятиям             | 1              |            | 1          |            | 1          |          | 1          |            | 1          |            | 1          |            | 0,5      | 0,5      |            | 1        | <b>8</b>                |
| Изучение теоре-<br>тических разде-<br>лов дисциплины | 4,5            | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5      | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5        | 4,5      | 4,5      | 4,5        | 4,5      | <b>72</b>               |
| Выполнение и<br>защита РГР                           |                |            | 1          | 2          | 1          | 1,5      | 1          | 2          | 1          | 2          | 1          | 2          | 1        | 1        | 2          | 1,5      | <b>20</b>               |
| <b>ИТОГО<br/>в 3 семестре</b>                        | <b>5,5</b>     | <b>4,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6,5</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>6,5</b> | <b>7</b> | <b>100</b>              |



## 7 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Таблица 5 – Паспорт фонда оценочных средств

| Контролируемые<br>разделы (темы)<br>дисциплины | Код контролиру-<br>емой компетенции<br>(или ее части) | Наименование<br>оценочного<br>средства | Показатели оценки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Разделы 1-3, 6                                 | У1(ПК-21-3),<br>Н1(ПК-21-3)                           | Выполнение<br>практических<br>заданий  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- способность анализировать и обобщать информацию;</li> <li>- способность синтезировать новую информацию;</li> <li>- способность делать обоснованные выводы на основе интерпретации информации, разъяснения;</li> <li>- установление причинно-следственных связей, выявление закономерности.</li> </ul>                                                                                                                                              |
| Разделы 1-6                                    | 31(ПК-21-3)                                           | Собеседование                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- понимание вопросов;</li> <li>- информированность по теме собеседования;</li> <li>- глубина, систематичность знаний;</li> <li>- способность технически грамотно изложить свои знания;</li> <li>- способность грамотно рассуждать и формулировать свои представления;</li> <li>- рациональность используемых подходов;</li> <li>- правильность логических построений;</li> <li>- степень проявления необходимых профессиональных качеств.</li> </ul> |
| Разделы 2-3, 6                                 | 31(ПК-21-3),<br>У1(ПК-21-3),<br>Н1(ПК-21-3)           | Расчётно-<br>графическая<br>работа     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- понимание методики и умение ее правильно применить;</li> <li>- качество оформления (аккуратность, логичность, для чертежно-графических работ - соответствие требованиям единой системы конструкторской документации);</li> <li>- достаточность пояснений.</li> </ul>                                                                                                                                                                               |

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 6).

Таблица 6 – Технологическая карта

|                                                | Наименование оценочного средства | Сроки выполнения   | Шкала оценивания | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Промежуточная аттестация в форме зачета</i> |                                  |                    |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1                                              | Практическое занятие 1           | В течение семестра | 5 баллов         | 5 баллов – студент правильно выполнил задание; показал отличные владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 2                                              | Практическое занятие 2           | В течение семестра | 5 баллов         | 4 балла – студент выполнил задание с небольшими неточностями; показал хорошие владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3                                              | Практическое занятие 3           | В течение семестра | 5 баллов         | 3 балла – студент выполнил задание с существенными неточностями; показал удовлетворительное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 4                                              | Практическое занятие 4           | В течение семестра | 5 баллов         | 2 балла – при выполнении задания студент продемонстрировал недостаточный уровень владения умениями и навыками при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5                                              | Практическое занятие 5           | В течение семестра | 5 баллов         | 0 баллов – задание не выполнено.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 6                                              | Практическое занятие 6           | В течение семестра | 5 баллов         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 7                                              | Собеседование (три вопроса)      | В течение семестра | 5 баллов         | 5 баллов – студент правильно ответил на все вопросы; показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала;<br>4 балла – студент ответил на все вопросы с неточностями; показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала;<br>3 балла – студент ответил на вопросы с существенными неточностями или не ответил на один вопрос; показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала;<br>2 балла – студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний, не ответил на два вопроса;<br>0 баллов – студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний и не ответил на три вопроса. |
| 8                                              | Расчётно-графическая работа      | В течение семестра | 65 баллов        | 65 баллов - студент полностью выполнил задание РГР, показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала, РГР оформлена аккуратно и в соответ-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                                                                                                          | Наименование оценочного средства | Сроки выполнения | Шкала оценивания | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                          |                                  |                  |                  | <p>ствии с предъявляемыми требованиями;</p> <p>50 баллов - студент выполнил основные разделы РГР, показал хорошие знания и умения, но не смог в полной мере проявить навыки при её решении, есть недостатки в оформлении работы;</p> <p>25 баллов - студент выполнил РГР частично, не смог проявить навыки моделирования, допустил существенные неточности или ошибки в работе, не смог сделать выводы по работе, есть недостатки в оформлении работы;</p> <p>0 баллов - студент не выполнил основные разделы РГР, неспособен пояснить выполненные разделы и полученный результат.</p> |
| ИТОГО:                                                                                                                                   |                                  | -                | 100 баллов       | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине:</b><br>Пороговый (минимальный) уровень для аттестации в форме зачета – 75 баллов. |                                  |                  |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## Задания для текущего контроля

### Задачи практических занятий

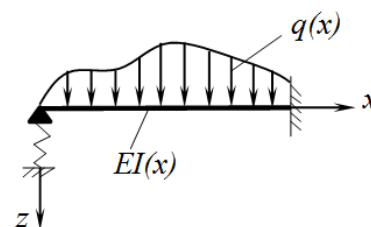
*Практическое задание 1:* Численные методы в ряду других методов. Состояние вопроса и задачи исследования.

Задание: Рассмотреть три группы численных методов: сеточные, конечно-элементные и гранично-элементные. Все эти методы в той или иной степени базируются на таких важных общих идеях, как: а) наличие узловой сетки; б) удовлетворение некоторым условиям в узлах; в) построение интерполирующих полиномов; г) численное дифференцирование; д) сведение задачи к решению алгебраических уравнений.

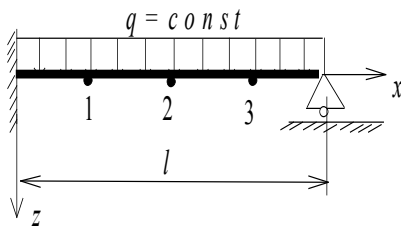
*Практическое задание 2:* Основные этапы исследования поведения деформируемых тел.

Задание: Построение физической модели. Построение математической модели. Выбор метода исследования (решения) математической модели.

Задана балка переменной жесткости  $EI(x)$ , нагруженная поперечной нагрузкой интенсивности  $q(x)$ . Требуется подобрать расчетную модель такой балки.



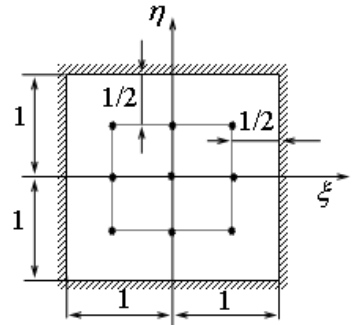
**Практическое задание 3:** Методы решения многомерных краевых задач: коллокаций и сеток.



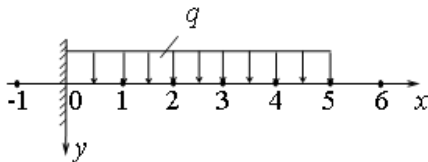
**Задание 1:** Определить методом коллокаций упругую линию призматической балки. Точки коллокаций расположим по длине балки на равном друг от друга расстоянии ( $l/4$ ). Выражение для упругой линии балки зададим в виде

$$w(x) = \sum_{k=0}^N a_k \left( \frac{x}{l} \right)^k.$$

**Задание 2:** Методом коллокаций определить приближенное выражение для упругой поверхности  $w(x, y)$  жестко заделанной на опорном контуре квадратной изотропной пластины постоянной толщины, нагруженной поперечной нагрузкой  $q = \text{const}$ . Изгиб пластины поперечной нагрузкой  $q$  в безразмерных координатах  $\xi = x/a$ ,  $\eta = y/a$  описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^4} + 2 \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \eta^4} = \frac{qa^4}{Dh}.$$


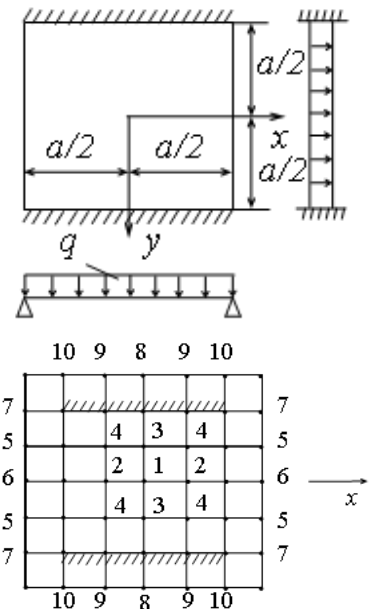
**Задание 3:** Составить систему конечно-разностных уравнений метода сеток для расчета на изгиб призматической балки жесткости  $EI$ , нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q$ . Левый конец балки жестко заделан, а правый ( $x = l$ ) свободен. Изгиб рассматриваемой балки описывается дифференциальным уравнением  $EIw^{IV}(x) = q$ .



**Практическое задание 4:** Применение метода сеток для решения двумерных краевых задач.

**Задание:** Применение метода сеток для решения двумерных краевых задач. Решить методом сеток задачу об изгибе прямоугольной квадратной пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q$ . Кромки пластины  $x = \text{const}$  свободно оперты, а кромки  $y = \text{const}$  жестко заделаны. Изгиб рассматриваемой пластины описывается дифференциальным уравнением  $\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}$ .

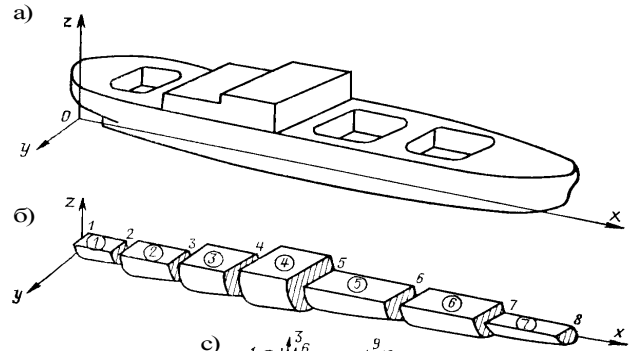
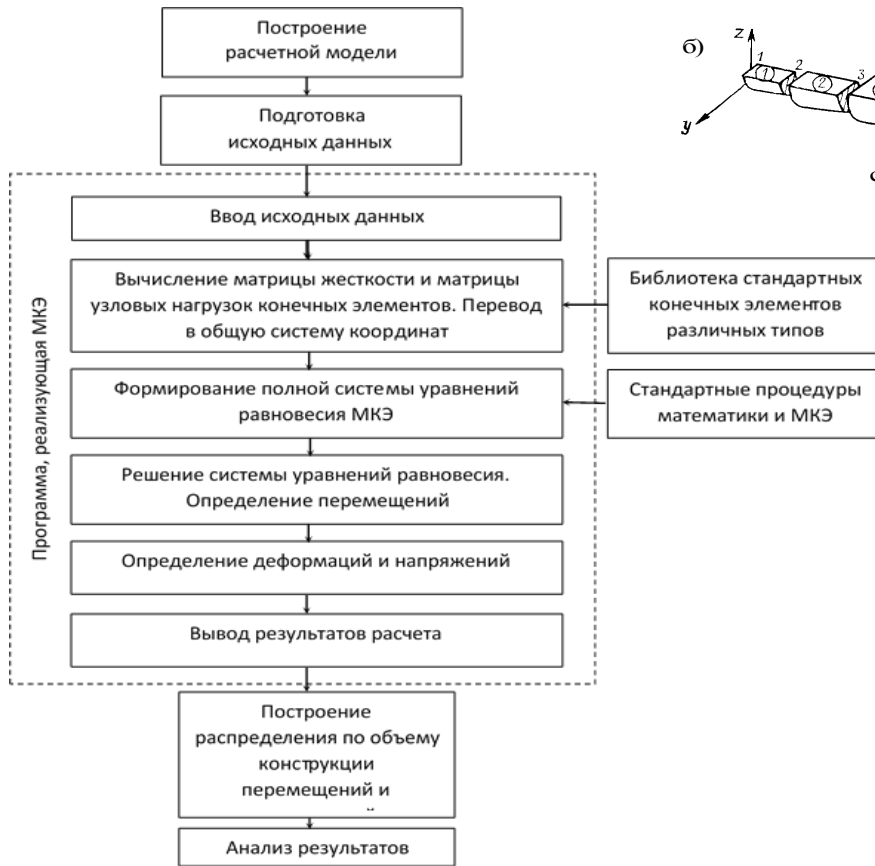
Наложим на пластину сетку с квадратными ячейками, размер сторон которых равен  $a/4$ . Дополнительно к внутренним узловым точкам нанесен ряд наружных узловых точек, которые входят в разностные уравнения равновесия и граничные условия. Найти значения производных, а затем, используя соответствующие зависимости теории изгиба пластин, найти деформации, напряжения и оценить прочность рассматриваемой пластины.



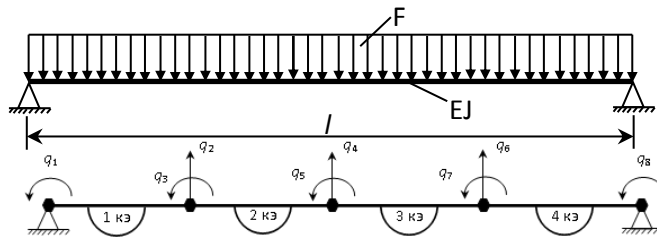


**Практическое задание 5:** Схема практического применения метода конечных элементов в расчетах прочности.

**Задание:** По общей схеме процедуры исследования конструкции по методу конечных элементов (МКЭ) построить расчетную модель корпуса судна.

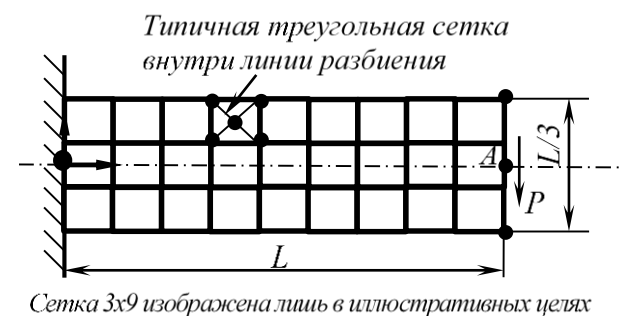


**Практическое задание 6:** Расчет конструкций средней сложности методом конечных элементов.



узловых усилий; решить систему уравнений. Дано:  $F=8 \text{ Н/см}$ ;  $l=100 \text{ см}$ ;  $E=2 \cdot 10^7 \text{ Н/см}^2$ ;  $J=0,6 \text{ см}^4$ . Разобьем балку на четыре КЭ равной длины  $l_{\text{КЭ}}=25 \text{ см}$  и пронумеруем узловые перемещения с учетом граничных условий. Построить график прогибов.

**Задание 2:** Проведите конечно-элементный анализ изображенной консольной балки прямоугольного сечения единичной толщины, самостоятельно выбирая тип элементов и сетку. Нагрузка  $P$  распределена по параболическому закону в виде касательных напряжений, приложенных к прямоугольному поперечному сечению:  $L = 2 \text{ м}$ ,  $t = 0,01 \text{ м}$ ,  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ,  $E = 2,0 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}$ ,  $P=5 \text{ Н}$ .



Сетка 3x9 изображена лишь в иллюстративных целях

### Вопросы для собеседования

1. Поясните причины использования численных методов.
2. Укажите и поясните основные этапы исследования сложных конструкций.
3. Поясните идею формирования системы уравнений равновесия в методе коллокаций?
4. Поясните достоинства и недостатки метода коллокаций.
5. Поясните идею конечных разностей и численного дифференцирования.
6. Поясните, что такое левые, правые и центральные производные.
7. Поясните идею формирования системы уравнений равновесия в конечных разностях (методе сеток).
8. Поясните идею формирования граничных условий в методе конечных разностей (методе сеток).
9. Поясните сущность и достоинства метода конечных элементов.
10. Поясните основные операции в процедуре метода конечных элементов.
11. Нарисуйте и поясните основные типы конечных элементов и их обобщенных узловых перемещений (стержневые, пластинчатые, оболочечные, объемные).
12. Поясните понятие о матрице жесткости конечного элемента. Укажите смысл коэффициента жесткости.
13. Поясните понятие о матрице усилий конечного элемента.
14. Поясните два способа получения матрицы жесткости конечного элемента.
15. Запишите основное матричное уравнение равновесия в методе конечных элементов.
16. Нарисуйте общую схему процедуры исследования конструкции (решения задачи) по методу конечных элементов.
17. Поясните идею и процедуру определения матрицы жесткости простейшего конечного элемента по методу реактивных усилий.
18. Поясните идею и процедуру определения матрицы жесткости простейшего конечного элемента энергетическим методом.
19. Поясните идею и процедуру определения матрицы усилий простейшего конечного элемента энергетическим методом.
20. Поясните идею формирования матрицы индексов в методе конечных элементов. Поясните для чего нужна матрица индексов в методе конечных элементов.

## Расчетно-графическая работа (РГР)

Задание для РГР с указанием варианта выдает преподаватель.

**Тема РГР:** Исследование прочности балки тремя численными методами.

**Задание:** Для заданной расчетной схемы (заданы конструкция, закрепление, внешняя нагрузка, размеры, материал) выполнить расчет несколькими методами:

(а) Аналитическим методом [4]. Этот расчет рассматривается в качестве сопоставительного (точного в смысле погрешности). При этом в аналитическом методе наличие продольной силы  $T$  можно не учитывать;

(б) Численным методом коллокаций;

(в) Численным методом сеток;

(г) Численным методом конечных элементов.

При этом для каждого из методов (кроме, аналитического) выполнить следующее:

1. Нанести узловую сетку (не менее пяти промежуточных узлов). Во всех численных методах узловую сетку сделать одинаковую (расстояние между узлами одинаковое).
2. Сформировать систему разрешающих уравнений.
3. Решить систему уравнений и найти основные неизвестные задачи. При этом для решения системы уравнений можно использовать любые методы и любые программные продукты.
4. Произвести сравнение результатов (размерность в мм), полученных по всем четырем методам. Для этого:
  - (а) составить таблицу с численными значениями прогибов для всех узловых точек;
  - (б) построить на одном рисунке графики получившихся упругих линий для всех методов;
  - (в) оценить погрешность результатов по максимальному прогибу. Результат по аналитическому методу условно принять за точный результат (100%).
5. Проанализировать решение и сделать выводы:
  - (а) о полученных результатах решения;
  - (б) о достоинствах, недостатках и особенностях использованных методов.

### Исходные данные:

Материал – сталь: модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ;

Форма поперечного сечения – квадратное сечение  $b \times b$ ;

Момент инерции поперечного сечения:  $I = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$ ;

Длина балки:  $\ell = 6 \text{ м}$ ;

Распределенная поперечная нагрузка:  $q = 1000 \text{ Н/м}$ ;

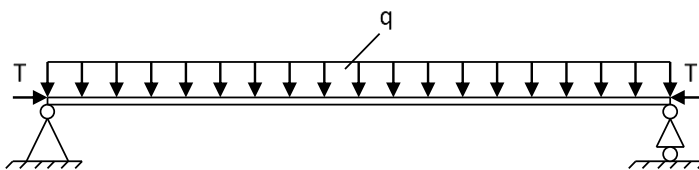
Продольное усилие:  $T = 500 \text{ Н}$ ;

Граничные условия – указаны на схеме.

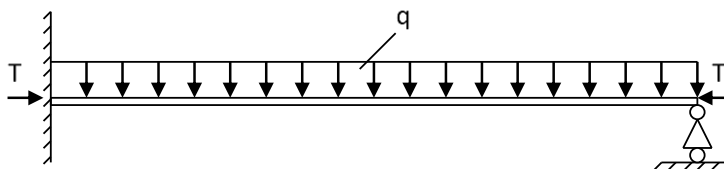
## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### Расчетные схемы:

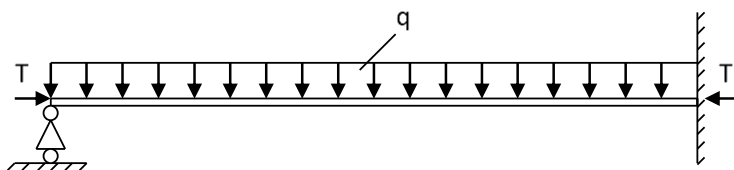
Вариант 1:



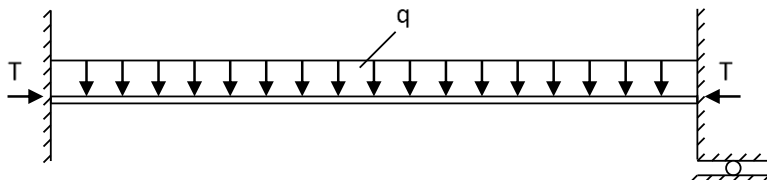
Вариант 2:



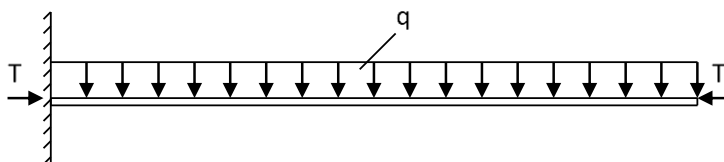
Вариант 3:



Вариант 4:



Вариант 5:



### Контрольные вопросы для защиты РГР

1. Назовите основные численные методы, применяемые при расчете на прочность судовые конструкции.
2. Какова сравнительная трудоемкость рассмотренных методов?
3. Как будет изменяться трудоемкость каждого метода при усложнении конструкции?
4. В чем заключаются достоинства каждого из метода?
5. В чем заключаются недостатки каждого из метода?
6. Какова сравнительная погрешность каждого из методов?
7. Что повлияло (каковы причины) на погрешность в каждом из методов?
8. Как учитываются граничные условия в каждом из методов?
9. Как влияют граничные условия на результаты в каждом из методов?
10. Если балка будет иметь «перелом» под прямым углом, то, что изменится в процедуре решения задачи в каждом из методов?



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

### **8.1 Основная литература**

1. Журбин, О. В. Анализ инженерных конструкций методом конечных элементов : учеб. пособие для вузов / О. В. Журбин, С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. ун-та, 2004. – 156 с.
2. Основы численных методов в задачах прочности судовых конструкций. Сеточные методы. Метод суперэлементов. Метод граничных элементов. Метод конечных элементов : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. Н. А. Таранухи. – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. ун-та, 2017. – 97 с.
3. Постнов, В. А. Численные методы расчёта судовых конструкций : учебник / В. А. Постнов. – Л. : Судостроение, 1977. – 280 с.
4. Строительная механика корабля и теория упругости : учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. Теория упругости и численные методы решения задач строительной механики корабля / под ред. В. А. Постнова. – Л. : Судостроение, 1987. – 288 с.

### **8.2 Дополнительная литература**

1. Журбин, О. В. Численные методы анализа в инженерных расчётах : учебное пособие для вузов / О. В. Журбин. – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. ун-та, 1998. – 74 с.
2. Турчак, Л. И. Основы численных методов : учебное пособие для вузов / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 2005. – 301 с.
3. Решение инженерных задач в пакете MathCAD : учеб. пособие / Ю. Е. Воскобойников [и др.]. – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2013. – 121 с. // Iprbooks : электронно-библиотечная система. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/68838.html> (дата обращения: 14.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
4. Холопов, И. С. Расчет плоских конструкций методом конечного элемента : учеб. пособие / И. С. Холопов, И. В. Лосева. – Саратов : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 102 с. // Iprbooks : электронно-библиотечная система. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/43399.html> (дата обращения: 14.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

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



1. Электронно-библиотечная система ZNANIUM.COM. Договор № 4378 эбс ИКЗ 20 1 2727000769 270301001 0006 001 6311 000 от 17 апреля 2020 г.

2. Электронно-библиотечная система IPRbooks. Лицензионный договор № ЕП 44/13 на предоставление доступа к электронно-библиотечной системе IPRbooks ИКЗ 20 1 2727000769 270301001 0005 001 6311 000 от 27 марта 2020 г.

3. Электронно-библиотечная система eLIBRARY.RU (периодические издания) Договор № ЕП 44//12 на оказание услуг доступа к электронным изданиям ИКЗ 20 1 2727000769 270301001 0008 001 6311 000 от 02 марта 2020 г.

## **10 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Промежуточной аттестацией по дисциплине в 3-м семестре является **зачёт**.

Общая оценка «Зачтено» выставляется студенту по сумме баллов текущего контроля знаний, умений и навыков в семестре: результатов выполненного в объёме учебной программы практикума, результатов собеседований, выполнения и защиты расчетно-графической работы.

Изучение дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» осуществляется в процессе аудиторных занятий и самостоятельной работы студента. Аудиторные занятия проходят в форме практических занятий. Разделы дисциплин следует изучать последовательно, начиная с первого. Каждый раздел, формирует необходимые условия для создания системного представления о предмете дисциплины. Рекомендации по отдельным видам деятельности студентов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Методические указания к отдельным видам деятельности

| Вид занятия            | Организация деятельности студента                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Практические занятия   | Знакомство с темой и целью практического занятия. Актуализация знаний по теме с помощью рекомендованной литературы. Выполнение индивидуальных или групповых практических заданий. Обобщение наиболее важных результатов практического занятия. |
| Самостоятельная работа | Для более глубокого изучения разделов дисциплины предусмотрены отдельные виды самостоятельной работы:<br>- подготовка к практическим занятиям;<br>- изучение теоретических разделов дисциплины;<br>- выполнение и защита РГР.                  |

Текущий контроль качества освоения дисциплины осуществляется на основе рейтинговой системы. Этот контроль осуществляется в течение семестра и качество усвоения материала (выполнения заданий) оценивается в баллах, в соответствии с таблицей 6.

Итоговый рейтинг определяется суммированием баллов текущей оценки в течение семестра. Максимальный балл текущего контроля составляет 100 баллов – «зачет», менее 75 баллов – «незачет».

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

Освоение дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций», при выполнении расчетов в процессе изучения дисциплины на практических занятиях и курсового проекта, основывается (по согласованию с руководителем) на активном использовании Microsoft Office (в части оформления результатов работы) и Mathcad или SMath- Studio (в части расчетов и графических построений). SMath- Studio – это бесплатная математическая программа с графическим редактором и полной поддержкой единиц измерения. В КнАГУ имеется академическая плавающая лицензия бессрочного действия для Mathcad на 25 рабочих мест (Сервисный контракт # 2A1820328, лицензионный ключ, договор № 106-АЭ120 от 27.11.2012), а также студенты самостоятельно могут получить полнофункциональную 30-дневную версию на сайте [www.ptc.com](http://www.ptc.com).

С целью повышения качества ведения образовательной деятельности в университете создана электронная информационно-образовательная среда. Она подразумевает организацию взаимодействия между обучающимися и преподавателями через систему личных кабинетов студентов, расположенных на официальном сайте университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу <https://knastu.ru/students>. Созданная информационно-образовательная среда позволяет осуществлять взаимодействие между участниками образовательного процесса посредством организации дистанционного консультирования по вопросам выполнения практических заданий.

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

Для реализации программы дисциплины «Численные методы оценки прочности судовых конструкций» используется материально-техническое обеспечение, перечисленное в таблице 8.

Таблица 8 – Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Аудитория | Наименование аудитории (лаборатории)                                                     | Используемое оборудование                       | Назначение оборудования                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 228/3     | Компьютерный класс ФЭТМТ с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС | Персональные компьютеры по количеству студентов | Проведение практических занятий с помощью прикладных программных продуктов |

## Лист регистрации изменений к РПД

[illegible]