

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»****РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

|           |  |
|-----------|--|
| Шифр      | Наименование дисциплины                |
| С2.В.ОД.1 | Численное моделирование в гидротехнике |

|  |  |
|--|--|
| Код направления подготовки / специальности                                   | 08.05.01   |
| Направление подготовки / специальность                                       | Строительство уникальных зданий и сооружений                         |
| Наименование ОПОП (профиль / магистерская программа / программа аспирантуры) | Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности |
| Год начала подготовки  | 2012   |
| Уровень образования  | специалитет  |
| Форма обучения   | очная  |

**Разработчики:**

|           |                        |         |             |
|-----------|------------------------|---------|-------------|
| должность | ученая степень, звание | подпись | ФИО         |
| доцент    | к.т.н., доцент         |         | Саинов М.П. |
|           |                        |         |             |

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
«Гидротехнического строительства»:**

|   |            |      |                              |      |
|---|------------|------|------------------------------|------|
| должность   | подпись    |      | ученая степень и звание, ФИО |      |
| Зав. кафедрой (руководитель подразделения)          |            |      | д.т.н., проф., Анискин Н.А.  |      |
| год обновления                                      | 2015       | 2016 | 2017                         | 2018 |
| Номер протокола                                     | №1         |      |                              |      |
| Дата заседания кафедры (структурного подразделения) | 31.08.2015 |      |                              |      |

**Рабочая программа утверждена и согласована:**

|                          |           |             |         |      |
|--------------------------|-----------|-------------|---------|------|
| Подразделение / комиссия | Должность | ФИО         | подпись | Дата |
| Методическая комиссия    | пред. МК  | Саинов М.П. |         |      |
| НТБ                      |           |             |         |      |
| ЦОСП                     |           |             |         |      |

## 1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Численное моделирование в гидротехнике» является освоение студентом знаний и умений по использованию численных методов для решения инженерных задач расчёта сооружений и конструкций.

*Задачи дисциплины:*

- изучение метода конечных разностей;
- изучение метода конечных элементов и возможностей его применения к решению задач о напряжённо-деформированном состоянии конструкции (сооружения) и о фильтрационном и температурном режиме сооружений.

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

| Компетенция по ФГОС   | Код Компетенции по ФГОС | Основные показатели освоения (показатели достижения результата)   | Код показателя освоения |
|---|-------------------------|---|-------------------------|
| использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования | ПК-5                    | <b>Знает</b> виды численных методов, применяемых для моделирования строительных конструкций, их возможности, преимущества и недостатки      | 31.1                    |
|   |                         | <b>Знает</b> теоретические основы метода конечных разностей   | 31.2                    |
|   |                         | <b>Знает</b> теоретические основы метода конечных элементов   | 31.3                    |
|   |                         | <b>Умеет</b> составлять численные (математические) модели сооружений и конструкций при их моделировании методом конечных разностей          | У1.1                    |
|   |                         | <b>Умеет</b> составлять численные (математические) модели сооружений и конструкций при их моделировании методами конечных элементов         | У1.2                    |
|   |                         | <b>Имеет навыки</b> составления численных (математических) моделей сооружений и конструкций при их моделировании методом конечных элементов | Н1.1                    |

|  |         |  |      |
|--|---------|--|------|
| владеет методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием лицензионных прикладных расчетных и графических программных пакетов  | ПК-10   | <b>Умеет</b> решать задачи о напряжённо-деформированном состоянии гидротехнических сооружений и строительных конструкций методом конечных элементов с помощью вычислительных программ        | У2.1 |
|  |         | <b>Умеет</b> решать задачи о фильтрационном и температурном режиме гидротехнических сооружений и конструкций методом конечных элементов с помощью вычислительных программ                    | У2.2 |
| способностью разрабатывать проекты технико-экономического обоснования гидротехнических сооружений различных видов и их комплексов, а также руководить разработкой технического и рабочего проектов этих сооружений с использованием средств автоматизированного проектирования | ПСК-3.1 | <b>Имеет навыки</b> решения задач о напряжённо-деформированном состоянии гидротехнических сооружений и строительных конструкций методом конечных элементов с помощью вычислительных программ | Н2.1 |
|  |         | <b>Имеет навыки</b> решения задач о фильтрационном и температурном режиме гидротехнических сооружений и конструкций методом конечных элементов с помощью вычислительных программ             | Н2.2 |
| владеет методами математического моделирования на базе лицензионных пакетов автоматизации проектирования и исследований, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам  | ПК - 18 |  |      |
| способностью вести гидрологические изыскания и научные исследования для проектирования и расчета гидротехнических сооружений, составлять планы исследований и изысканий  | ПСК-3.2 |  |      |

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

Дисциплина «Численное моделирование в гидротехнике» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла основной профессиональной образовательной программы по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация № 3 «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности». Дисциплина является обязательной к обучению.

Дисциплина «Численное моделирование в гидротехнике» базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных студентами в процессе изучения следующих дисциплин:

- «Математика»,
- «Информатика»,
- «Сопrotивление материалов с основами теории упругости, пластичности и ползучести»,

- “Строительная механика”,
- “Механика грунтов. Основания и фундаменты сооружений”.

*Требования к входным знаниям, умениям и владениям студентов:*

Для освоения дисциплины «Численное моделирование в гидротехнике» студент должен:

*Знать:*

- фундаментальные основы высшей математики,
- современные средства вычислительной техники и её возможности,
- фундаментальные понятия, законы и теории классической физики,
- физико-механические свойства строительных материалов и грунтов,
- основные понятия и уравнения механики деформируемого тела; и её разделов;
- численные методы, применяемые для решения инженерных задач, и их теоретические основы;

*Уметь:*

- самостоятельно использовать математический аппарат для инженерных задач,
- определять усилия и напряжения в строительных конструкциях от действующих нагрузок методами сопротивления материалов и строительной механики,
- использовать компьютерную технику в профессиональной деятельности, пользоваться основными офисными приложениями;

*Иметь навыки:*

- формализации прикладных задач, выбора конкретных методов анализа и синтеза для решения сформулированной задачи,
- использования современной компьютерной техники для выполнения математических и инженерных расчетов и оформления их результатов,
- постановки и решения задач механики деформируемого твёрдого тела аналитическими и численными методами.
- работы с современной научной литературой.

*Дисциплины и практики, для которых дисциплина «Численное моделирование в гидротехнике» является предшествующей:*

- «Оптимальное проектирование в гидротехнике»,
- «Расчёт и проектирование гидротехнических сооружений»,
- «Научно-исследовательская работа»,
- «Преддипломная практика».

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов.

## Структура дисциплины:

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля)   | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах) |                                  |                      |                                 |     |                          | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)<br>Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------|--|---------|-----------------|--|----------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----|--------------------------|---|
|       |  |         |                 | Контактная работа с обучающимися   |                                  |                      |                                 |     | Самостоятельная работа   |   |
|       |  |         |                 | Лекции   | Практико-ориентированные занятия |                      |                                 | КСР |                          |   |
|       |  |         |                 |  | Лабораторный практикум           | Практические занятия | Групповые консультации по КП/КР |     |                          |   |
| 1     | Численные методы решения задач   | 8       | 1               | 2  |                                  |                      |                                 | 2   |                          |   |
| 2     | Метод конечных разностей   | 8       | 1-3             | 2  |                                  |                      |                                 | 10  |                          |   |
| 3     | Теоретические основы метода конечных элементов   | 8       | 3-4             | 4  |                                  |                      |                                 | 10  | Письменный опрос №1      |   |
| 4     | Решение задач напряжённо-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов | 8       | 5-12            | 4  |                                  | 24                   |                                 | 24  | Письменный опрос №2, РГР |   |
| 5     | Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов                    | 8       | 13-16           | 4  |                                  | 8                    |                                 | 14  | Письменный опрос №3      |   |
|       | Итого:   |         |                 | 16   |                                  | 32                   |                                 | 60  | Зачёт                    |   |

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

**5.1. Содержание лекционных занятий**

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Тема и содержание занятия  | Кол-во акад. часов |
|-------|--|--|--------------------|
| 1     | Численные методы решения задач           | Причины использования численных методов. Преимущества и недостатки численных методов. Возможности применения численных методов для моделирования работы сооружений. Оценка точности. Реализация численных методов на ЭВМ. Требуемые вычислительные ресурсы.<br>Виды численных методов, моделирующих работу сооружений: метод конечных разностей (МКР), метод | 2                  |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   |  | конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов.  |   |
| 2 | Метод конечных разностей   | <p>Конечно-разностное представление дифференциальных уравнений.</p> <p>Применение МКР для фильтрационных расчётов. Сетка МКР, принципы формирования. Решение задач с учётом фактора времени. Обеспечение устойчивости (сходимости) метода. Минимальный шаг по времени.</p> <p>Применение МКР к решению задач о напряжённо-деформированном состоянии.</p> <p>Достоинства и недостатки метода конечных разностей.</p>   | 2 |
| 3 | Теоретические основы метода конечных элементов   | <p>Исходные положения метода. МКЭ один из вариационных методов. Вариационный принцип.</p> <p>МКЭ как вид метода перемещений. Конечно-элементная база. Виды плоских и пространственных конечных элементов. Степень аппроксимации. Функция перемещений элемента. Понятие о функциях формы и локальных координатах.</p> <p>Основное уравнение МКЭ. Матрица упругости. Матрица формы. Матрица жёсткости элемента Построение матрицы жесткости системы.</p> <p>Методы решения больших систем алгебраических уравнений, порожденных МКЭ.</p> <p>Алгоритм МКЭ.</p> | 4 |
| 4 | Решение задач напряжённо-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов | <p>Основное уравнение МКЭ.</p> <p>Построение физических и математических моделей. Задание граничных условий. Задание действующих нагрузок.</p> <p>Особенности применения метода конечных элементов в задачах с физической нелинейностью. Система основных уравнений. Методы решения.</p> <p>Промышленные и исследовательские программные комплексы, реализующие МКЭ.</p> <p>Моделирование швов и трещин в конструкциях с помощью метода конечных элементов.</p>   | 4 |
| 5 | Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов                    | <p>Основное уравнение фильтрации. Вариационный принцип, энергетический функционал. Основное уравнение МКЭ применительно к задачам фильтрации и температурного режима.</p> <p>Построение моделей сооружения. Граничные условия в фильтрационных и температурных задачах.</p> <p>Матрица проницаемости.</p> <p>Метод локальных вариаций и его применение к решению фильтрационных задач.</p> <p>Построение депрессионной поверхности. Определение фильтрационного расхода.</p>  | 4 |

## 5.2. Лабораторный практикум

Учебным планом лабораторный практикум не предусмотрен.

### 5.3. Перечень практических занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля)   | Тема и содержание занятия  | Кол-во акад. часов |
|-------|--|--|--------------------|
| 4     | Решение задач напряжённо-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов | <b>Знакомство с вычислительной программой "CRACK".</b><br>Программный комплекс "CRACK" - состав и основные возможности. Моделирование нарушений сплошности и упругопластической работы материала. Структура исходной информации. Выполнение расчетов с помощью программы "CRACK", пользовательский интерфейс, сообщения программы.   | 10                 |
|       |  | <b>Расчет напряжений в балке методом конечных элементов.</b><br>Для заданной балки и схемы нагружения строится сетка МКЭ. Формируются массивы узловых и элементных данных. Задаются свойства материала балки и нагрузка, действующая на балку.<br>Решается задача в упругой постановке с помощью МКЭ (программа «CRACK»). Полученные деформации (прогибы) и напряжения сравниваются с результатами решения задачи по балочной теории и теории упругости. Оценивается точность численного решения.          | 14                 |
| 5     | Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов                    | <b>Решение задачи напорной фильтрации методом конечных элементов.</b><br>Выбор расчётной фильтрационной области. Составление регулярной сетки МКЭ с помощью вспомогательной программы. Формирование граничных условий в уровнях воды. Решение задачи с помощью вычислительной программы. Корректировка расчётной области и граничных условий с учётом образования кривой депрессии. Построение эквипотенциалей с помощью программы SURFER. Вычисление фильтрационного расхода. Анализ выходных градиентов. | 8                  |

### 5.4. Групповые консультации по курсовым работам/курсовым проектам

Групповые консультации по курсовым работам/курсовым проектам учебным планом не предусмотрены.

### 5.5. Самостоятельная работа

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Содержание работы  | Кол-во акад. часов |
|-------|--|--|--------------------|
| 1     | Численные методы решения задач           | <i>Изучение материала лекций с помощью учебника и учебных пособий, электронных ресурсов.</i>                     | 2                  |
| 2     | Метод конечных разностей                 | <i>Изучение материала лекций с помощью учебника и учебных пособий, электронных ресурсов.</i>                     | 4                  |
|       |  | <i>Самостоятельное изучение тем из следующего перечня:<br/>Решение нелинейных задач МКР. Конечные разности в</i> | 6                  |

|   |   |  |    |
|---|---|--|----|
|   |   | многомерном случае. Конечно – разностные аппроксимации частных производных. Решение уравнения с частными производными методом конечных разностей. Задачи для областей неправильной формы. Нелинейные задачи в многомерном случае. Аппроксимация и сходимости   |    |
| 3 | Теоретические основы метода конечных элементов  | <i>Изучение материала лекций с помощью учебника и учебных пособий, электронных ресурсов.</i>   | 4  |
|   |   | <i>Самостоятельное изучение тем из следующего перечня:</i><br>Элементы высокого порядка. Квадратичные и кубические элементы. Локальная система координат Преобразование координат. Матрица Якоби. Вычисление производных функций формы. Применение численного интегрирования при определении матриц элементов. Координаты точек интегрирования и весовые коэффициенты для квадратуры Гаусса - Лежандра. Субпараметрические, изопараметрические и суперпараметрические элементы.  | 6  |
| 4 | Решение задач напряжённо-деформированного состояния конструкций и сооружений методом конечных элементов | <i>Изучение материала лекций с помощью учебника и учебных пособий, электронных ресурсов.</i>   | 4  |
|   |   | <i>Самостоятельный практикум по материалам практических занятий на следующие темы:</i><br>Знакомство с вычислительной программой “CRACK”. Расчет напряжений в балке методом конечных элементов.  | 10 |
|   |   | <i>Самостоятельное изучение тем из следующего перечня:</i><br>Реализация МКЭ на ЭВМ. Прямое построение глобальной матрицы жесткости и вектора узловых усилий. Система линейных уравнений. Преобразование системы уравнений с учетом граничных условий. Методы решения системы уравнений. Общая блок – схема вычислений МКЭ. Решение контактных задач МКЭ. Специальные контактные элементы. Формирование матрицы жесткости контактного элемента. Алгоритм учета нелинейных эффектов контактного взаимодействия при решении задачи в рамках метода дополнительных нагрузок.<br>Применение метода локальных вариаций для решения задач о напряжённо-деформированном состоянии: идея, преимущества, недостатки, область рационального применения.<br>Алгоритмы решения задач с нелинейностью деформирования грунтов методом суперэлементов | 10 |
| 5 | Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов                                 | <i>Изучение материала лекций с помощью учебника и учебных пособий, электронных ресурсов.</i>   | 4  |
|   |   | <i>Самостоятельный практикум по материалам практических занятий на следующие темы:</i><br>Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов.   | 4  |
|   |   | <i>Самостоятельное изучение тем из следующего перечня:</i><br>Основное уравнение МКЭ для задач теплопроводности. Функционал для решения задач теплопроводности. Формирование матриц теплопроводности. Перенос тепла за счет теплопроводности и конвекции. Двумерный перенос тепла. Трехмерный случай переноса тепла. Точечные источники. Преобразование координат. Нестационарная задача теплопроводности с учетом фазовых переходов.  | 6  |



## **6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Задачами самостоятельной работы студента по дисциплине является:

- расширение теоретических знаний студента по разделам дисциплины, изучаемым на лекционных занятиях,
- самостоятельное знакомство с некоторыми вопросами дисциплины,
- овладение методиками выполнения расчётов гидротехнических сооружений с помощью численного моделирования, приобретение навыков анализа их результатов,
- приобретение практических навыков и умений по работе с вычислительными программами.

Самостоятельная работа студента включает:

- самостоятельное изучение студентами разделов дисциплины с помощью специальной технической литературы и Интернет-ресурсов,
- подготовку к мероприятиям текущего контроля (контрольная работа, опросы на лекциях),
- подготовку к промежуточной аттестации (зачёт) на основе лекционного материала, а также материала, изученного самостоятельно.

В качестве учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) рекомендуется использовать:

- для самостоятельного изучения разделов дисциплины и подготовки к мероприятиям контроля самостоятельной работы - учебную литературу, указанную в п.8 рабочей программы дисциплины,
- в качестве вопросов для самопроверки – вопросы из фонда оценочных средств, указанные в п.7 рабочей программы дисциплины,

## **7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

*7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы*

| Код компетенции по ФГОС | Этапы формирования компетенций (разделы теоретического обучения) |   |   |   |   |  |
|-------------------------|--|---|---|---|---|--|
|                         | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |  |
| ПК-5                    | +  | + | + | + | + |  |
| ПК-10                   | +  | + | + | + | + |  |
| ПСК-3.1                 | +  | + | + | + | + |  |
| ПК - 18                 | +  | + | + | + | + |  |
| ПСК-3.2                 | +  | + | + | + | + |  |

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

7.2.1. Описание показателей и форм оценивания компетенций

| Код компетенции по ФГОС                 | Показатели освоения (Код показателя освоения) | Форма оценивания    |                     |                     |                             |                          |   | Обеспеченность оценивания компетенции |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
|   |   | Текущий контроль    |                     |                     |                             | Промежуточная аттестация |   |                                       |
|   |   | Письменный опрос №1 | Письменный опрос №2 | Письменный опрос №3 | Расчетно-графическая работа | Зачет                    |   |                                       |
| 1                                       | 2   | 3                   | 4                   | 5                   | 6                           | 7                        | 8 | 9                                     |
| ПК-5                                    | З1.1  | +                   | +                   | +                   | +                           | +                        |   | +                                     |
|   | З1.2  | +                   |                     |                     |                             | +                        |   | +                                     |
|   | З1.3  |                     | +                   | +                   | +                           | +                        |   | +                                     |
|   | У1.1  | +                   |                     |                     |                             | +                        |   | +                                     |
|   | У1.2  |                     | +                   | +                   | +                           | +                        |   | +                                     |
|   | Н1.1  |                     |                     |                     |                             | +                        | + |                                       |
| ПК-10,<br>ПСК-3.1,<br>ПК-18,<br>ПСК-3.2 | У2.1  |                     | +                   |                     | +                           | +                        |   | +                                     |
|   | У2.2  |                     |                     | +                   |                             | +                        |   | +                                     |
|   | Н2.1  |                     |                     |                     | +                           | +                        |   | +                                     |
|   | Н2.2  |                     |                     |                     |                             | +                        |   | +                                     |
|   |   | +                   | +                   | +                   | +                           | +                        | + | +                                     |

7.2.2. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Экзамена/Дифференцированного зачета

Экзамена и дифференцированного зачёта по дисциплине не предусмотрено.

7.2.3. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Защиты курсовой работы/проекта

Защиты курсового проекта по дисциплине не предусмотрено учебным планом..

7.2.4. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Зачета

Оценка осуществляется по нескольким критериям, каждый из которых оценивается отдельно. Итоговая оценка устанавливается преподавателем интегрально по всем критериям.

Критерии оценивания:

| Показатели освоения компетенций | Критерии оценивания                                      |
|---------------------------------|--|
| Знания                          | Знание терминов и определений, понятий                   |
|                                 | Знание основных закономерностей и соотношений, принципов |

|        |   |
|--------|---|
|        | Объём освоенного материала, полнота ответов                             |
|        | Понимание материала   |
|        | Наличие ошибок, чёткость при изложении и интерпретации знаний           |
|        | Способность отвечать на поставленные вопросы                            |
| Умения | Освоение методик - умение решать практические задачи, выполнять задания |
|        | Понимание сути методики решения задач, выполнения заданий               |
|        | Наличие ошибок в решении задач и выполнении заданий                     |
|        | Способность обосновать решение, отвечать на поставленные вопросы        |
|        | Качество оформления решения, выполнения задачи                          |
| Навыки | Уровень освоения знаний и умений  |
|        | Наличие затруднений в выполнении трудовых действий                      |
|        | Быстрота и качества выполнения трудовых действий                        |

| Код показателя оценивания    | Оценка   |  |
|------------------------------|--|--|
|                              | Не зачтено   | Зачтено  |
| 31.1<br>31.2<br>31.3         | не знает терминов и определений  | знает термины и определения  |
|                              | не знает основные закономерности и соотношения, принципы построения знаний           | знает основные закономерности, соотношения, принципы построения знаний       |
|                              | не знает значительной части материала дисциплины,                                    | в целом освоил материал дисциплины   |
|                              | не понимает сути материала дисциплины  | понимает суть материала дисциплины   |
|                              | допускает грубые ошибки при изложении и интерпретации знаний                         | может излагать и интерпретировать материал дисциплины                        |
|                              | не может увязывать теорию с практикой, не может ответить на простые вопросы          | применяет знания при ответе на вопросы                                       |
| У1.1<br>У1.2<br>У2.1<br>У2.2 | не умеет решать практические задачи, выполнять поставленные задания                  | умеет решать практические задачи, выполнять поставленные задания             |
|                              | не понимает сути методики решения задач  | понимает суть методики решения задач   |
|                              | допускает грубые ошибки при решении задач, нарушающие логику решения                 | не допускает грубых ошибок при решении задач, нарушений логики решения задач |
|                              | не может обосновать выбор метода решения задач, не осознаёт связи теории с практикой | обосновывает выбор метода решения задач                                      |
| Н1.1<br>Н2.1<br>Н2.2         | не обладает необходимыми знаниями и умениями   | обладает необходимыми знаниями и умениями                                    |
|                              | не обладает навыками выполнения поставленных задач                                   | обладает навыками выполнения поставленных задач                              |
|                              | не выполняет трудовые действия   | выполняет трудовые действия качественно и не медленно                        |

7.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

#### 7.3.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится путём:

- письменного опроса на занятии по предшествующей теме,
- проверки расчётно-графической работы.

Расчётно-графическая работа выполняется на тему “Расчёт напряжённо-деформированного состояния конструкции (сооружения) методом конечных элементов”. В ней рассматриваются следующие вопросы:

1. Составление расчетной сетки МКЭ балки.
2. Формирование массивов узловой и элементной информации для расчетной программы “CRACK”.
3. Задание поверхностной нагрузки.
4. Задание свойств материала балки.
5. Выполнение расчетов в упругой постановке.
6. Сопоставление полученных результатов с решением теории упругости и балочной теории.

*Требования к расчётно-графической работе:*

Расчётно-графическая работа представляет собой пояснительную записку объёмом 5-7 страниц машинописного текста с рисунками и расчётными схемами. В ней приводятся:

- расчётная схема сооружения (конструкции),
- сетка МКЭ для рассматриваемого сооружения,
- распечатка исходных данных вычислительной программы,
- скриншоты программы визуализации результатов расчётов,
- файлы результатов расчётов,
- анализ результатов расчёта с сопоставлениями и выводами.

*Вопросы к опросу по теме «Решение задач методом конечных разностей»:*

- Запишите конкретное дифференциальное уравнение в конечно-разностной форме.
- Нарисуйте схематичную сетку метода конечных разностей,
- Как выбирается минимальный шаг по времени?
- Перечислите преимущества и недостатки метода конечных разностей.
- Для каких задач целесообразно применять метод конечных разностей, а для каких нет -? Почему?

*Вопросы к опросу по теме «Теоретические основы метода конечных элементов»:*

- 1) Запишите основное уравнение МКЭ.
- 2) Запишите вариационный принцип МКЭ для решения задач напряжённо-деформированном состоянии.
- 3) Нарисуйте общий схематичный алгоритм МКЭ,
- 4) Нарисуйте конечные элементы, укажите количество их степеней свободы.
- 5) Чем отличается узел от степени свободы?
- 6) Что такое матрица упругости?
- 7) Что такое матрица формы?
- 8) Нарисуйте графическую схему решения нелинейной задачи методом переменной матрицы жёсткости.
- 9) Нарисуйте графическую схему решения нелинейной задачи методом.
- 10) Преимущества и недостатки методов переменной матрицы жёсткости и переменного вектора сил.
- 11) В чём состоит идея метода суперэлементов?

*Вопросы к опросу по теме «Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов»:*

- 1) Вариационный принцип и энергетический функционал для решения температурных (фильтрационных) задач.

- 2) Запишите основное уравнение МКЭ для решения задачи фильтрации.
- 3) Перечислите граничные условия в фильтрационных задачах.
- 4) Перечислите граничные условия в температурных задачах.
- 5) Что такое матрица проницаемости.
- 6) Из какого условия строится депрессионная поверхность?

### 7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации в ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ».

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде зачёта.

#### Вопросы для оценки качества освоения дисциплины:

Примерные вопросы к зачёту:

1. Представление дифференциального уравнения разностными выражениями.
2. Разность вперед, назад, центральная разность.
3. Учет граничных условий в МКР. Законтурные точки.
4. Конечно – разностные аппроксимации частных производных.
5. Решение задачи напорной фильтрации МКР.
6. Достоинства и недостатки МКР.
7. Метод конечных элементов (МКЭ) и его применение к задачам о напряженно-деформированном состоянии строительных конструкций.
8. Основные соотношения МКЭ, построение матриц жесткости. Типы конечных элементов.
9. Матрица жесткости одномерного линейного элемента.
10. Матрица жесткости треугольного элемента плоского напряженного состояния.
11. Конечные элементы высших порядков. Субпараметрические, изопараметрические и суперпараметрические элементы.
12. Особенности формирования матриц жесткости элементов высших порядков.
13. Преобразование координат. Матрица Якоби. Вычисление производных от функций формы.
14. Численное интегрирование.
15. Контактные элементы для явного моделирования нарушений сплошности. Элемент Гудмана. Особенности формирования матрицы жесткости.
16. Моделирование эффектов контактного взаимодействия.
17. Решение в рамках МКЭ физически нелинейных задач.
18. Построение глобальной матрицы жесткости и вектора узловых усилий. Система линейных уравнений.
19. Преобразование системы уравнений с учетом граничных условий.
20. Методы решения системы уравнений. Общая блок – схема вычислений МКЭ.
21. Метод суперэлементов при решении задач МКЭ.
22. Алгоритм решения задач методом подконструкций.
23. Методы решения больших систем алгебраических уравнений, порожденных МКЭ.
24. Решение задач с физической нелинейностью МКЭ в рамках деформационной теории пластичности.
25. Решение задач с физической нелинейностью МКЭ по теории пластического течения.
26. Учет поэтапности возведения и приложения нагрузки при решении задач МКЭ.
27. Обзор программных комплексов реализующих МКЭ. Промышленные программные комплексы. Проблемно ориентированные и исследовательские программные комплексы.

28. Основное уравнение МКЭ для задач теплопроводности. Функционал для решения задач теплопроводности. Формирование матриц теплопроводности.
29. Перенос тепла за счет теплопроводности и конвекции.
30. Минимизация функционалов методом локальных вариаций.
31. Применение метода локальных вариаций для решения задач фильтрации.

*7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций*

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ».

- Аттестационные испытания проводятся преподавателем, ведущим лекционные занятия по данной дисциплине, или преподавателями, ведущими практические и лабораторные занятия (кроме устного экзамена). Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением по кафедре (структурному подразделению).

- Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, имеющие нарушения опорно-двигательного аппарата, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

- Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

- Время подготовки ответа при сдаче зачета в устной форме должно составлять не менее 40 минут (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

- Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

- Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

| № п/п                       | Наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом | Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы, количество страниц    | Количество экземпляров печатных изданий | Число обучающихся, одновременно изучающих дисциплину (модуль) |
|-----------------------------|--|---|---|---|
| 1                           | 2  | 3   | 4                                       | 5   |
| <i>Основная литература:</i> |  |   |   |   |
|                             |  | НТБ МГСУ  |   |   |
| 1                           | Численное моделирование в гидротехнике                           | Гидротехнические сооружения (речные): учебник для вузов: в 2 ч./Л.Н. Рассказов и др.-М.: Изд-во АСВ, 2011. Ч. 1. - 581 с. | 22                                      | 25  |

|                                   |  |   |    |    |
|-----------------------------------|--|---|----|----|
| 2                                 | Численное моделирование в гидротехнике | Гидротехнические сооружения (речные): учебник для вузов: в 2 ч./Л.Н. Рассказов и др.-М.: Изд-во АСВ, 2011. Ч. 2. - 533 с.   | 22 | 25 |
| <i>Дополнительная литература:</i> |  |   |    |    |
|                                   |  | НТБ МГСУ  |    |    |
| 1                                 | Численное моделирование в гидротехнике | Волшаник, В. В. Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях [Текст] / В. В. Волшаник. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 278 с.  | 10 | 25 |
| 2                                 | Численное моделирование в гидротехнике | Воробьев, Г.А. Защита гидротехнических сооружений от кавитации [Текст] / Г. А. Воробьев. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 247 с.   | 6  | 25 |
| 3                                 | Численное моделирование в гидротехнике | Высоцкий, Л. И. Управление бурными потоками на водосбросах [Текст] / Л. И. Высоцкий. - 2-е изд., перераб.и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 240 с.  | 2  | 25 |
| 4                                 | Численное моделирование в гидротехнике | Даревский, В.Э. Основы расчетов портовых гидротехнических сооружений [Текст] / В. Э. Даревский, С. Н. Левачев, Ю. М. Колесников. Ч.1 : Общие положения нагрузки и воздействия. - М. : МИСИ, 1990. - 87 с. | 75 | 25 |

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

| Наименование ресурса сети «Интернет»                                    | Электронный адрес ресурса   |
|---|---|
| «Российское образование» - федеральный портал                           | <a href="http://www.edu.ru/index.php">http://www.edu.ru/index.php</a>   |
| Научная электронная библиотека  | <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp?">http://elibrary.ru/defaultx.asp?</a>   |
| Электронная библиотечная система IPRbooks                               | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>   |
| Федеральная университетская компьютерная сеть России                    | <a href="http://www.runnet.ru/">http://www.runnet.ru/</a>   |
| Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" | <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>   |
| Научно-технический журнал по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ» | <a href="http://www.vestnikmgsu.ru/">http://www.vestnikmgsu.ru/</a>   |
| Научно-техническая библиотека МГСУ                                      | <a href="http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/">http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/</a>                           |
| раздел «Кафедры» на официальном сайте МГСУ                              | <a href="http://www.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/">http://www.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/</a> |

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

Студенту рекомендуется организовывать и планировать свою самостоятельную работу в соответствии с п.5.5 рабочей программы дисциплины.

При самоподготовке по материалам дисциплины студенту рекомендуется использовать следующие приёмы:

1. Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект лекции. Необходимо после каждой лекции знакомиться с изложением материала лекции в литературе;

2. Ознакомление с основополагающими терминами и понятиями, требующихся для запоминания, с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием

толкований в специальный конспект (тетрадь). Сопоставление разных толкований между собой;

3. Написание конспекта лекций, в котором в краткой, схематичной форме фиксировать наиболее важные положения и законы дисциплины, ключевые слова, термины и определения, выделять выводы и обобщения, пометать важные мысли;

4. Самостоятельное повторное решение практических задач, рассмотренных на занятиях и в учебной литературе, с последующей сверкой самостоятельного и эталонного решения;

5. Осуществление подготовки к мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по вопросам, указанным в рабочей программе дисциплины, фонде оценочных средств, ведение тетради ответов на вопросы;

6. Выделение круга вопросов, который вызывает трудности, с последующим их разрешением либо с помощью рекомендуемой литературы, либо с помощью консультации у преподавателя.

7. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам.

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

*11.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса – не используется*

*11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса – не используется*

| № | Наименование раздела дисциплины (модуля)   | Тема  | Наименование программного обеспечения | Тип лицензии         |
|---|--|---|---------------------------------------|----------------------|
| 4 | Решение задач напряжённо-деформированного состояния конструкций методом конечных элементов | Знакомство с вычислительной программой «CRACK». Расчет напряжений в балке методом конечных элементов.”. | CRACK; NDS-N                          | Разработано ИПС МГСУ |
| 5 | Решение фильтрационных и температурных задач методом конечных элементов                    | Решение задачи напорной фильтрации методом конечных элементов.  | CRACK; NDS-N                          | Разработано ИПС МГСУ |

*11.3. Перечень информационных справочных систем*

Информационно-библиотечные системы

| Наименование ИБС                 | Электронный адрес ресурса   |
|----------------------------------|---|
| Научная электронная библиотека   | <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp?">http://elibrary.ru/defaultx.asp?</a> |
| Электронная библиотечная система | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>             |



|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| IPRbooks                           |   |
| Научно-техническая библиотека МГСУ | <a href="http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/">http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/</a> |

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

Учебные занятия по дисциплине «Численное моделирование в гидротехнике» проводятся в следующих оборудованных учебных кабинетах, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением:

| № п/п | Вид учебного занятия | Наименование оборудования  | № и наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий             |
|-------|----------------------|--|--|
| 1     | 2                    | 3  | 4  |
| 1     | Лекция               | Стационарные / мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования  | Аудитории / аудитория для проведения занятий лекционного типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда  |
| 2     | Практическое занятие | Мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования   | Аудитории / аудитория для проведения занятий семинарского типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда |
|       |                      | Системный блок Kraftway Credo KC41 – 15 шт.,<br>Компьютер тип № 3/Dell с монитором 21,5”HP,<br>Ноутбук Notebook HP”/тип № 4,<br>Принтер тип № 4/ HP Color LJ CP 5225dn,<br>ИБП тип 1APS 900 для компьютера | УЛБ, 502г  |

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и с учетом рекомендаций примерной основной образовательной программы высшего образования по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».