

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 21.05.2026 17:29:31  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Инженерная академия**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОГЕОЛОГИИ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

#### **05.04.01 ГЕОЛОГИЯ**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

#### **ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2026 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Методы численного моделирования в гидрогеологии» входит в программу магистратуры «Горнопромышленная геология» по направлению 05.04.01 «Геология» и изучается в 3 семестре 2 курса. Дисциплину реализует Кафедра Вуза-Партнёра. Дисциплина состоит из 3 разделов и 8 тем и направлена на изучение численных гидрогеологических моделей.

Целью освоения дисциплины является формирование знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области построения, анализа и актуализации численных гидрогеологических моделей, характеризующих этапы формирования компетенций и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Методы численного моделирования в гидрогеологии» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует проблему, решение которой напрямую связано с достижением цели проекта; УК-2.2 Определяет связи между поставленными задачами и ожидаемые результаты их решения; УК-2.3 В рамках поставленных задач определяет имеющиеся ресурсы и ограничения, действующие правовые нормы;
ОПК-2	Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач	ОПК-2.1 Знает основы и методы организации научно-исследовательской деятельности, методики постановки цели и способы ее достижения; ОПК-2.2 Умеет выполнять разработку методик исследований; ОПК-2.3 Владеет методами установления причинно-следственных связей и определения наиболее значимых среди них и навыками самостоятельного формулирования целей исследований;
ПК-3	Способен проектировать, осуществлять и руководить работами по гидрогеологическому изучению территории на стадии разведки и разработки месторождения полезных ископаемых	ПК-3.1 Знает теоретические основы и методики гидрогеологического изучения территории на стадии разведки и разработки месторождения полезных ископаемых; ПК-3.2 Умеет применять методические решения при проектировании, осуществлении и руководстве работ по гидрогеологическому изучению территории на стадии разведки и разработки месторождения полезных ископаемых; ПК-3.3 Способен применять полученные знания и умения при проектировании, осуществлении и руководстве работами по гидрогеологическому изучению территории на стадии разведки и разработки месторождения полезных ископаемых;

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Методы численного моделирования в гидрогеологии» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Методы численного моделирования в гидрогеологии».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

<b>Шифр</b>	<b>Наименование компетенции</b>	<b>Предшествующие дисциплины/модули, практики*</b>	<b>Последующие дисциплины/модули, практики*</b>
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	Modelling of Mineral Deposits;	
ОПК-2	Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач	Modelling of Mineral Deposits; Geological and Geophysical Basics of Mineral Prospecting and Exploration;	Research Work (Mining Geology). Part 2; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 2;
ПК-3	Способен проектировать, осуществлять и руководить работами по гидрогеологическому изучению территории на стадии разведки и разработки месторождения полезных ископаемых	Mineralogy; Mining Geology;	Pre-Graduation Practice; Research Work (Mining Geology). Part 2;

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы численного моделирования в гидрогеологии» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			3
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	36		36
Лекции (ЛК)	18		18
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18		18
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	90		90
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	18		18
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Основы численного моделирования	1.1	Введение в численное моделирование	Численное моделирование в гидрогеологии представляет собой метод исследования фильтрационных и миграционных процессов, основанный на приближенном решении дифференциальных уравнений математической физики с использованием вычислительной техники. В отличие от аналитических методов, дающих точное решение для идеализированных условий, численные методы позволяют учитывать реальную сложность гидрогеологических объектов: неоднородность фильтрационных свойств, сложную геометрию границ пласта, изменчивость граничных условий во времени, взаимосвязь водоносных горизонтов, инфильтрационное питание и техногенные воздействия. Численное моделирование является основным инструментом для прогноза водопритоков в карьеры и шахты, обоснования систем осушения, оценки эксплуатационных запасов подземных вод, прогноза распространения загрязнения и решения геоэкологических задач. Современное численное моделирование реализуется в специализированных программных комплексах, таких как MODFLOW, FEFLOW, GMS, Visual MODFLOW, PMWIN, обеспечивающих полный цикл работ от подготовки данных до визуализации и анализа результатов.	ЛК, СЗ
		1.2	Типизация гидродинамических расчетов	Гидродинамические расчеты в гидрогеологии классифицируются по нескольким признакам, определяющим выбор математического аппарата и программных средств. По характеру изменения параметров во времени различают стационарные задачи (параметры потока не зависят от времени) и нестационарные задачи (учитывается изменение напоров, расходов и граничных условий во времени). По пространственной размерности выделяют одномерные (профильная фильтрация), двумерные (плановые и профильные) и трехмерные (пространственные) задачи. По типу водоносного горизонта различают расчеты для напорных, безнапорных и напорно-безнапорных условий. По структуре	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>потока выделяют расчеты для изолированных водоносных горизонтов, многослойных систем с перетеканием, трещиноватых и трещинно-пористых сред. По характеру взаимодействия с поверхностными водами различают задачи с учетом и без учета гидравлической связи с реками и водоемами. По виду техногенного воздействия выделяют расчеты водозаборов, дренажных систем, карьерного водоотлива, закачки технологических растворов. Правильная типизация задачи является первым и важнейшим этапом численного моделирования, определяющим выбор расчетной схемы и требования к исходным данным.</p>	
		1.3	Теоретические основы численного моделирования	<p>Теоретической базой численного моделирования геофильтрации являются дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие движение подземных вод в пористых и трещиноватых средах. Основным является уравнение нестационарной фильтрации, которое для напорных условий записывается относительно функции напора и включает параметры водопроводимости и упругой водоотдачи. Для безнапорных потоков применяется уравнение Буссинеска, нелинейное относительно мощности потока. Численные методы решения дифференциальных уравнений подразделяются на метод конечных разностей и метод конечных элементов. Метод конечных разностей основан на замене непрерывной области дискретной сеткой и аппроксимации производных конечными разностями, что приводит к системе линейных алгебраических уравнений. Метод конечных элементов использует вариационные принципы и кусочно-непрерывную аппроксимацию искомой функции на сетке элементов произвольной формы, что обеспечивает более точное описание сложной геометрии границ и неоднородностей. Решение систем уравнений производится итерационными методами, включая метод сопряженных градиентов, метод последовательной верхней релаксации и многосеточные методы. Устойчивость и сходимость численного решения зависят от выбора шага по времени и размера ячеек сетки, что требует соблюдения</p>	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				определенных критериев.	
Раздел 2	Фильтрационный поток подземных вод	2.1	Типы потоков подземных вод	Классификация типов потоков подземных вод является основой для выбора математической модели и методов численного решения. По пространственной структуре выделяют плановые потоки (преобладает горизонтальная составляющая скорости фильтрации), профильные потоки (движение рассматривается в вертикальном разрезе) и трехмерные пространственные потоки. По гидравлическому состоянию различают напорные потоки (водоносный горизонт полностью насыщен, пьезометрическая поверхность расположена выше кровли), безнапорные (со свободной поверхностью) и напорно-безнапорные (переходные режимы, возникающие при осушении напорных пластов). По режиму фильтрации выделяют установившиеся стационарные потоки, неустановившиеся нестационарные потоки с закономерным изменением параметров во времени, и квазистационарные потоки, при которых скорость изменения напоров постоянна во времени. По характеру связи с атмосферой и поверхностными водами различают потоки с инфильтрационным питанием, с взаимодействием с реками и водоемами (граничные условия III рода), с испарением с поверхности грунтовых вод. В горнорудных районах распространены специфические типы потоков: радиальные потоки к дренажным скважинам, линейные потоки к траншеям и карьерам, потоки в прибортовых зонах карьеров со сложной геометрией границ. Понимание типа потока необходимо для адекватной схематизации гидрогеологических условий и корректной постановки численной модели.	ЛК, СЗ
		2.2	Геофильтрационная схематизация	Геофильтрационная схематизация представляет собой процесс упрощения реальных гидрогеологических условий до уровня, допускающего математическое описание при сохранении наиболее существенных черт, определяющих решение поставленной задачи. Схематизация включает выделение расчетных водоносных горизонтов и разделяющих их водоупоров, определение их пространственных границ и геометрических параметров, установление граничных условий по контуру области фильтрации, задание распределения	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>фильтрационных параметров, определение источников питания и разгрузки подземных вод. По пространственной структуре схематизация может быть одномерной, двумерной плановой, двумерной профильной или трехмерной. Граничные условия подразделяются на условие первого рода (заданный напор на границе), условие второго рода (заданный расход через границу), условие третьего рода (линейная связь расхода с напором, характерная для взаимодействия с реками и водоемами). Фильтрационные параметры могут задаваться как однородные в пределах выделенных зон или как непрерывно изменяющиеся в пространстве. Источники питания включают инфильтрацию атмосферных осадков, перетекание из смежных горизонтов, техногенную закачку и отбор воды. Качество схематизации определяет достоверность результатов моделирования и должно соответствовать стадии изученности объекта и целям решаемой задачи.</p>	
Раздел 3	Геофильтрационное моделирование	3.1	Концептуальное моделирование	<p>Концептуальное моделирование является начальным и наиболее ответственным этапом численного моделирования, на котором формируется обобщенное представление о гидрогеологических условиях объекта и процессах, определяющих движение подземных вод. Концептуальная модель включает определение границ области моделирования в плане и разрезе, выделение водоносных горизонтов и водоупорных толщ, установление типов граничных условий на внешних границах, характеристику источников питания (инфильтрация, перетекание, приток из рек) и разгрузки (испарение, родники, водозаборы), оценку распределения фильтрационных параметров в пределах выделенных зон. Концептуальная модель основывается на анализе и обобщении всей имеющейся геологической, гидрогеологической, геофизической и гидрометеорологической информации, включая данные бурения, опытно-фильтрационных работ, режимных наблюдений, геофизических исследований. Важнейшим принципом является принцип необходимой достаточности: модель должна быть максимально простой, но при этом адекватно отражать все существенные черты объекта,</p>	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>влияющие на решение поставленной задачи. Концептуальная модель документируется в виде набора карт, разрезов, блок-диаграмм и описания, сопровождаемых обоснованием принятых допущений. Ошибки, допущенные на стадии концептуального моделирования, не могут быть исправлены последующей калибровкой и приводят к недостоверным прогнозным результатам.</p>	
		3.2	Эпигнозное моделирование	<p>Эпигнозное моделирование представляет собой решение обратной задачи геофильтрации, направленное на восстановление параметров модели по известным фактическим данным о режиме подземных вод за прошедший период. Целью эпигнозного моделирования является создание калиброванной модели, которая с приемлемой точностью воспроизводит наблюдавшиеся изменения уровней подземных вод, расходов родников, водопритоков в горные выработки и других измеряемых характеристик. Исходными данными для эпигнозного моделирования служат временные ряды наблюдений по режимной сети скважин, данные о фактическом водоотборе из скважин и карьеров, метеорологические данные (осадки, температура), сведения об изменении граничных условий во времени. Процесс эпигнозного моделирования включает задание начальных условий (распределения напоров на начало моделируемого периода), воспроизведение истории техногенного воздействия (графики работы водозаборов, углубление карьеров), сравнение модельных и фактических напоров, выявление систематических расхождений и их анализ. Эпигнозная модель должна воспроизводить не только абсолютные значения напоров, но и тренды их изменения, сезонные колебания, скорость сработки или восстановления уровней. Успешное эпигнозное моделирование является необходимым условием для перехода к прогнозным расчетам.</p>	ЛК, СЗ
		3.3	Калибровка. Прогнозное моделирование	<p>Калибровка модели представляет собой итерационный процесс уточнения параметров модели (коэффициентов фильтрации, водопроводимости, водоотдачи, параметров инфильтрационного питания, проводимости граничных условий) с целью достижения наилучшего соответствия</p>	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>модельных и фактических значений наблюдаемых величин. Калибровка может выполняться вручную методом проб и ошибок или с использованием автоматизированных алгоритмов решения обратных задач, реализованных в современных программных комплексах (PEST, UCODE). Критериями качества калибровки служат среднеквадратическая ошибка, коэффициент корреляции, нормализованная среднеквадратическая ошибка, анализ остаточных расхождений. Важным принципом является параметрическая обоснованность: количество калибруемых параметров не должно превышать информационную емкость имеющихся наблюдений. После достижения удовлетворительного качества калибровки выполняется верификация модели на независимых данных, не использовавшихся при калибровке. Прогнозное моделирование осуществляется на калиброванной модели путем задания прогнозных сценариев изменения граничных условий и техногенных воздействий. Прогнозные расчеты обязательно сопровождаются анализом неопределенности, связанной с погрешностями исходных данных, неоднозначностью калибровки и вариативностью прогнозных сценариев. Результаты прогнозного моделирования являются основой для принятия проектных и управленческих решений по осушению месторождений, защите горных выработок от водопритоков и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.</p>	

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Компьютерный класс	Компьютерный класс для проведения занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная персональными компьютерами (в количестве ____ шт.), доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Программное обеспечение: MODFLOW, Surfer (или QGIS)
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Sanderson D.J., Zhang X., Numerical modelling and analysis of fluid flow and deformation of fractured rock masses, Elsevier, 2002 г., 300 стр., ISBN: 0-08-043931-4, <https://www.geokniga.org/books/30770>

2. Fetter C.W., Applied hydrogeology / Прикладная гидрогеология, Waveland Press, 2018, 621p., , ISBN: 1-4786-3709-9, <https://www.geokniga.org/books/31204>

3. Merkel B.J., Planer-Friedrich B., Groundwater geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems, Springer, 2005 г., 206 стр., ISBN: 3-540-24195-7, <https://www.geokniga.org/books/24600>

4. Bloetscher F. Manual of water supply practices. Groundwater, American Water Works

Association, 2014 г., 295 стр., ISBN: 978-1-58321-964-5,  
<https://www.geokniga.org/books/31486>

*Дополнительная литература:*

1. Schmid, Wolfgang, and Hanson, R.T., 2009, The Farm Process Version 2 (FMP2) for MODFLOW-2005—Modifications and Upgrades to FMP1: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A-32, 102 p. <https://pubs.usgs.gov/tm/tm6a32/pdf/tm6a32.pdf>

2. USGS Publications Warehouse, <https://pubs.er.usgs.gov/>

3. United states Environmental Protection Agency (EPA), <https://www.epa.gov/>

*Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:*

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН

<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

- ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevier.com/locate/scopus/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Методы численного моделирования в гидрогеологии».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

**РАЗРАБОТЧИКИ:**

Профессор ОГ ИШПР ТПУ

*Должность, БУП*

*Подпись*

Гусева Наталья  
Владимировна

*Фамилия И.О.*

Научный сотрудник ОГ ИШПР  
ТПУ

*Должность, БУП*

*Подпись*

Пургина Дарья  
Валерьевна

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Заведующий кафедрой  
недропользования и  
нефтегазового дела

*Должность, БУП*

*Подпись*

Котельников Александр  
Евгеньевич

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Заведующий кафедрой  
недропользования и  
нефтегазового дела

*Должность, БУП*

*Подпись*

Котельников Александр  
Евгеньевич

*Фамилия И.О.*