

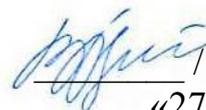
**Негосударственное образовательное частное учреждение  
дополнительного профессионального образования  
«Геотэк-Колледж»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор

В.Н.Озмидова

«27 января 2023 г.



**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА  
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

**«Технология инструментальных определений входных  
параметров нелинейных моделей грунтов, используе-  
мых в программных комплексах численного моделиро-  
вания оснований зданий и сооружений»**

**Руководитель курса:  
научный руководитель АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»,  
к. геол.-мин. наук, д. физ.-мат. наук ВМАК,  
академик Российской академии естественных наук  
Озмидов Олег Ростиславович**

г. Москва  
2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

I	ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
II	ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОГРАММЫ.....	5
III	ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	6
IV	СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ.....	7
IV.1	Учебный план.....	7
IV.2	Календарный учебный график.....	8
IV.3	Рабочие программы модулей.....	9
IV.3.1	Модуль 1. Цифровое грунтоведение – составная часть цифровой экономики.....	9
IV.3.2	Модуль 2. Численное моделирование грунтовых оснований зданий и сооружений. Технологии определения входных параметров математических моделей грунтов.....	9
IV.3.3	Модуль 3. Нелинейные модели грунтов.....	10
IV.3.4	Модуль 4. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений в условиях динамического воздействия. Циклические испытания грунтов. ....	10
IV.3.5	Модуль 5. Геотехнические и фильтрационные расчеты .....	11
IV.3.6	Модуль 6. Особенности получения исходных данных для численного моделирования подземных сооружений. Оценка влияния нового строительства на существующую застройку.....	11
IV.3.7	Модуль 7. Особенности экспертизы материалов инженерных изысканий, выполненных с целью обеспечения исходными данными численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений.....	12
IV.3.8.	Программа лекционных занятий.....	12
IV.3.9.	Программа учебной практики.....	13
IV.3.10.	Самостоятельная работа слушателей.....	14
IV.4	Оценка качества освоения программы. Формы аттестации и оценочные материалы.....	14
V	УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ.....	18
V.1	Материально-техническое обеспечение программы.....	18
V.2	Кадровое обеспечение.....	18
V.3	Нормативно-правовое и учебно-методическое обеспечение программы.....	18
V.3.1	Нормативные правовые акты.....	18
V.3.2	Учебно-методическое обеспечение программы.....	19

## I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Технология инструментальных определений входных параметров нелинейных моделей грунтов, используемых в программных комплексах численного моделирования оснований зданий и сооружений» (далее – программа) разработана в соответствии с требованиями Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" и приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 1 июля 2013 г. № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам».

**Нормативно-правовой и методической основой для разработки программы являются:**

- Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»,
- Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»,
- Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»,
- Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 624 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства»,
- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 мая 2016 г. № 548 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 21.05.02 Прикладная геология (уровень специалитета)».

**Курс повышения квалификации предназначен для специалистов строительной отрасли в области инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий, а также проектировщиков фундаментов зданий и сооружений и сооружений инженерной защиты.**

Общими требованиями к обучающимся являются:

- наличие среднего профессионального или высшего образования;
- получение среднего профессионального или высшего образования.

Обучение по программе является одним из условий получения свидетельства о допуске саморегулируемых организаций:

«Организация управления инженерными изысканиями»

«Инженерно-геологические изыскания»

«Инженерно-геотехнические изыскания»

«Обследование состояния грунтов основания зданий и сооружений».

«Конструктивные решения»

## II ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОГРАММЫ

Основной целью программы является обновление теоретических и практических знаний руководителей и специалистов в области инженерных изысканий для строительства и проектирования зданий и сооружений в связи с повышением требований к уровню квалификации и необходимостью освоения современных методов решения профессиональных задач.

Материалы программы позволяют ознакомить слушателей с новыми решениями в отечественной и зарубежной практике инженерных изысканий и проектирования зданий и сооружений, совершенствовать знания в области нормативных и правовых аспектов изыскательской и проектной деятельности, современных методов и технических средств производства изысканий и обследования зданий. Слушатели имеют возможность усвоить современные приемы работы с программными комплексами численного моделирования грунтовых оснований и фундаментов зданий и сооружений, а также получить знания по теоретическим и практическим основам лабораторных испытаний грунтов с целью получения их физико-механических характеристик. Практическая часть программы направлена на получение слушателями профессиональных навыков работы с программными комплексами численного моделирования грунтовых оснований PLAXIS и MIDAS GTS и проведения инструментальных определений входных параметров математических моделей грунтов. В результате прохождения программы обучающиеся изучат нелинейные модели грунтов (Hardening Soil, Hardening Soil Small-strain, Soft Soil, Soft Soil Creep, Hoek-Brown и др.), особенности динамических расчетов с применением модели семейства UBC SAND, а также получат навык по составлению технического задания по инженерно-геологическим и геотехническим изысканиям для строительства зданий и сооружений..

### **III ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

В результате реализации программы происходит совершенствование компетенций (общекультурных – ОК и профессиональных – ПК) (на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 21.05.02 Прикладная геология (уровень специалитета)):

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способность проводить технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостный анализ эффективности проектов (ПК-11);
- способность планировать и выполнять аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, критически оценивать результаты исследований и делать выводы (ПК-14);
- способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований (ПК-15).

#### **В результате освоения программы обучения слушатель должен знать:**

- физические основы моделей грунтов, используемых в современной механике грунтов;
- устройство и принципы работы современного оборудования геотехнической лаборатории;
- закономерности формирования напряженно-деформированного состояния грунтового основания:
  - аналитические зависимости, используемые при построении нелинейных моделей грунтов;
  - методику моделирования грунтового основания при помощи средств численного моделирования PLAXIS и MIDAS GTS;
  - технологию оценки влияния нового строительства на существующую застройку с использованием метода конечных элементов;
  - положения нормативной базы по инженерным изысканиям, относящиеся к испытаниям грунтов;
  - особенности международной нормативной базы.

#### **В результате освоения программы обучения слушатель должен уметь:**

- подбирать необходимое геотехническое оборудование для выполнения испытаний;
- составлять техническое задание по определению входных параметров нелинейных моделей грунтов лабораторными методами;
- корректно использовать положения нормативной базы применительно к поставленным задачам;
- выполнять интерпретацию материалов испытаний;
- моделировать грунтовые основания зданий и сооружений при помощи программного средства PLAXIS и MIDAS GTS;
- оформлять результаты испытаний в виде лабораторных протоколов;
- составлять текст технического отчета по определению параметров грунтов.

## IV СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### IV.1 Учебный план

**Форма обучения:** очная с возможностью применения дистанционных технологий.

**Срок обучения:** - 72 часа (лекции - 38 час., учебная практика – 26 час., самостоятельная работа - 6).

По окончании учебного процесса проводится аттестация. По итогам аттестации слушателям, прошедшим курс обучения, выдаются удостоверения о повышении квалификации установленного образца.

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	УП	СР	
1.	Модуль 1. Цифровое грунтоведение – составная часть цифровой экономики	16	12	4	-	Устный опрос
2.	Модуль 2. Численное моделирование грунтовых оснований зданий и сооружений. Технологии определения входных параметров математических моделей грунтов	12	8	4	-	Устный опрос -
3.	Модуль 3. Нелинейные модели грунтов	12	6	4	2	Устный опрос -
4.	Модуль 4. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений в условиях динамического воздействия. Циклические испытания грунтов	6	4	2	-	Устный опрос -
5.	Модуль 5. Геотехнические и фильтрационные расчеты	10	-	6	4	Устный опрос
6.	Модуль 6. Особенности получения исходных данных для численного моделирования подземных сооружений. Оценка влияния нового строительства на существующую застройку	6	-	6	-	Устный опрос
7	Модуль 7. Особенности экспертизы материалов инженерных изысканий, выполненных с целью обеспечения исходными данными численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений	8	8	-	-	Устный опрос
8.	Модуль 8. Итоговая аттестация.	2	-	2		Зачет
	<b>Итого часов</b>	<b>72</b>	<b>38</b>	<b>28</b>	<b>6</b>	

Л – лекции, УП – учебная практика, СР – самостоятельная работа

#### IV.2 Календарный учебный график

Компоненты программы	День		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Всего	
	Л	УП	8	4	6	6	8	8	6	2	8	6	6	2	4	2	8	6	6	2	8	6	66	38
Аудиторных часов			8	4	6	6	8	8	6	2	8	6	6	2	4	2	8	6	6	2	8	6	66	38
				4		-		-	4		2		4		2		6		4		2		28	
Самостоятельная работа, часов			-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	6	
Итоговая аттестация			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	зачет	-	-	-	-	
Итого			8	6	8	6	8	6	8	8	6	8	8	6	8	6	8	6	8	6	8	8	72	

Модули	День обучения		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Всего	
	Л	УП	4Л	4УП	6Л	6Л	2Л	2Л	4УП	6Л	2УП	2УП	2УП	2УП	2Л	2Л	2УП	4УП	2УП	4УП	4УП	6УП	4УП	
Модуль 1. Цифровое грунтоведение – составная часть цифровой экономики.			4Л	4УП	6Л		2Л																12Л	4УП
Модуль 2. Численное моделирование грунтовых оснований зданий и сооружений. Технологии определения входных параметров математических моделей грунтов							6Л	2Л	4УП														8Л	4УП
Модуль 3. Нелинейные модели грунтов оснований										6Л	2УП	2УП	2УП										6Л	4УП
Модуль 4. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений в условиях динамического воздействия. Циклические испытания грунтов												2Л	2УП	2Л									4Л	2УП
Модуль 5. Геотехнические и фильтрационные расчеты															2УП	2УП	4УП	2УП					6УП	4УП
Модуль 6. Особенности получения исходных данных для численного моделирования подземных сооружений. Оценка влияния нового строительства на существующую застройку																	2УП	4УП					6УП	

<b>Модуль 7. Особенности экспертизы материалов инженерных изысканий, выполненных с целью обеспечения исходными данными численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений</b>									2Л	6Л	8Л
<b>Модуль 8. Итоговая аттестация.</b>										2УП	1УП
<b>Итого, часов</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>72</b>

Л – лекции, УП – учебная практика, СР – самостоятельная работа

### IV.3 Рабочие программы модулей

#### Модуль IV.3.1 Цифровое грунтоведение-составная часть цифровой экономики

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
1.	<b>Модуль 1. Цифровое грунтоведение-составная часть цифровой экономики</b>	16	12	4		-
1.1.	Основные положения федерального законодательства по безопасности зданий и сооружений. Законодательство в области цифровизации производственных процессов. Индустрия 4.0. Актуальные цифровые платформы для глобального ускорения развития технологий инженерных изысканий. Развитие нормативной базы по инженерно-геологическим и геотехническим изысканиям.	2	2	-	-	-
1.2.	Основные принципы цифрового грунтоведения.	2	2	-	-	-
1.3.	Инновационные лабораторные методы определения состава и свойств грунтов оснований зданий и сооружений. Современное оборудование и программное обеспечение геотехнической лаборатории. Испытательное оборудование ведущих мировых производителей. Импортозамещение в геотехнике. Инновационная разработка геотехнического оборудования на базе КБ «ПрогрессГео». Реестр средств измерений РФ. Экскурсия по испытательной лаборатории.	4	-	4	-	-
1.4	Цифровая платформа DigitRock для интерпретации данных лабораторных испытаний грунтов с использованием нейротехнологий и технологии BigData.  Реализация новых нормативных требований (ГОСТ 12248.3.-2020) при разработке программного обеспечения по интерпретации геотехнических данных.	2	2	-		Контр. вопросы

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
1.5	Основные аспекты развития технологий полевых испытаний грунтов оснований зданий и сооружений. Современные установки глубинного статического зондирования. Демонстрация инновационной установки статического зондирования.	2	2	-	-	
1.6	Определение свойств грунтов методами инженерной геофизики. Перспективы использования геофизических данных в целях численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений. Комплексование геотехнических и геофизических технологий в рамках концепций цифрового грунтоведения.	4	4	-	-	

**IV.3.2 Модуль 2. Численное моделирование грунтовых оснований зданий и сооружений. Технологии определения входных параметров математических моделей грунтов.**

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
2.	<b>Модуль 2. Численное моделирование грунтовых оснований зданий и сооружений. Технологии определения входных параметров математических моделей грунтов.</b>	12	8	4	-	-
2.1.	Использование метода конечных элементов (МКЭ) в расчетах грунтовых оснований. Действующие нормативы по численному моделированию. Требования к составлению программы работ и технического задания. Основные принципы геотехники.	2	2	-	-	-
2.2.	Понятие расчетных моделей грунта на примере моделей: линейной упругости (LE), Мора-Кулона (MC), уплотняющегося грунта (HS), уплотняющегося	2	2	-	-	-

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
	грунта при малых деформациях (HSS). Особенности применения моделей SoftSoil (SS), SoftSoil Creep (SSC), NGI-ADP,					
2.3.	Научные и практические основы испытаний грунтов методом трехосных сжатий. Расчет геостатического давления. Метод восстановления фазового состава. Методы ускорения и снижения себестоимости трехосных испытаний грунтов, отвечающие требованиям действующих нормативных документов. Статический, кинематический и динамический режимы испытаний. Дренированные и недренированные испытания. Особенности диаграмм Мора-Кулона. Принцип Терцаги. Недренированная прочность грунтов.	4	4	-	-	-
2.4.	Методы лабораторного определения входных параметров грунтовых моделей программного комплекса численного моделирования (Plaxis, MIDAS GTS NX). Модель Мора-Кулона (МС), модифицированная модель Мора-Кулона (ММС), упругопластическая модель с уплотнением грунта Hardening Soil (HS). Особенности калибровки нелинейных моделей грунтов.	4	-	4	-	-

### IV.3.3 Модуль 3. Нелинейные модели грунтов

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
3.	<b>Модуль 3. Нелинейные модели грунтов</b>	12	6	4	2	-
3.1.	Современные представления о расчетном сопротивлении грунтов. Учет истории нагружения и анизотропии напряженно-деформированного состояния грунтового основания при оценке расчетного сопротивления грунтов. Обоснование выбора нелинейной модели грунтового основания с позиций оценки максимального расчетного сопротивления грунтов основания.	4	4			-
3.2.	Особенности нелинейных моделей грунтов. Критерии прочности. Поверхности текучести. Шатровые модели грунтов. Статус пластических точек. Пластический потенциал. Технология определения характеристик переуплотнения (POP, OCR, PCP) и показателей дилатансии. Влияние дилатансии на прочностные свойства грунтов. Влияние переуплотнения и дилатансии на параметры шатровых моделей грунтов. Учет дилатансии грунтов при проектировании свайных полей.	4	2	2	-	-
3.3.	Особенности инструментальных определений входных параметров расчетной модели Hardening soil (HS) посредством использования камеры трехосного сжатия типа Б в режиме К0-консолидации. Определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя и коэффициента поперечного расширения при повторном нагружении. Коэффициент бокового давления для нормально уплотненных и переуплотненных грунтов. Влияние параметров переуплотнения на формирование напряженно-деформированного состояния подземных сооружений и бортов глубоких котлованов.	4	-	2	2	-

**IV.3.4. Модуль 4. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений в условиях динамического воздействия. Циклические испытания грунтов**

№ п/п	Разделы, темы	Всего часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
4.	<b>Модуль 4. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений в условиях динамического воздействия. Циклические испытания грунтов.</b>	6	4	2		-
4.1.	Научные и практические основы определения динамических свойств грунтов. Современные сервопневматические и сервогидравлические циклические установки трехосного сжатия. Принцип действия резонансной колонки.	2	2	-	-	-
4.2.	<p>Демонстрация трехосных испытаний грунтов в режиме резонанса. Определение деформационных характеристик грунтов <math>G_0</math> и <math>\gamma_{0,7}</math> в циклическом режиме малоамплитудных деформаций (microstrain), используемых в модели Hardening Soil Small (HSS).</p> <p>Организация и проведение эксперимента на циклическом сервогидравлическом стабилометре Wille Geotechnik. с целью получения входных параметров модели Hardening Soil Small (HSS).</p>				-	-
4.3.	Расчет НДС грунтового массива, вмещающего транспортный тоннель, при помощи программных комплексов PLAXIS, MIDAS GTS NX. Демонстрация принципа деградации сдвиговой жесткости Гардина-Дрневича.	2	-	2	-	Контр. вопросы
4.4.	Комплексирование геотехнических и геофизических методов.	2	2	-	-	

#### IV.3.5 Модуль 5 Геотехнические и фильтрационные расчеты

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
5.	<b>Модуль 5. Геотехнические и фильтрационные расчеты</b>	10		6	4	-
5.1.	Типы поведения моделей: Drained, Undrained A, Undrained B. Особенности определения прочностных и деформационных характеристик грунтов в недренированном режиме. Расчет времени консолидации грунтового основания здания/сооружения. Корректировка темпов возведения сооружения с учетом темпов диссипации порового давления.	2	-	2	2	Контр. вопросы
5.2.	Решение фильтрационной задачи и расчет устойчивости грунтовой плотины. Лабораторные технологии определения коэффициента фильтрации, коэффициентов фильтрационной и вторичной (ползучести) консолидации глинистых грунтов в одометрическом режиме.	2	-	2	2	Контр. вопросы
5.3.	Расчет расхода грунтовых вод через заданное сечение грунтовой плотины в режиме установившейся фильтрации. Модель фильтрации Вангенутхена.	2	-	2	-	Контр. вопросы

#### IV.3.6 Модуль 6 Особенности получения исходных данных для численного моделирования подземных сооружений. Оценка влияния нового строительства на существующую застройку

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
6.	<b>Модуль 6. Особенности получения исходных данных для численного моделирования подземных сооружений.</b>	6		6		-

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
	<b>Оценка влияния нового строительства на существующую застройку</b>					
6.1.	Особенности инженерных изысканий, направленных на получение исходных данных для проектирования подземных сооружений. Анализ влияния типа модели грунтов на параметры напряженно-деформируемого состояния грунтового массива в зоне влияния подземного сооружения	-	-	2	-	Контр. вопросы
6.2.	Оценка влияния нового строительства на существующую застройку. Анализ формирования точек пластического течения и потенциальной поверхности разрушения на этапе строительства котлована.	-	-	4	-	Контр. вопросы

**IV.3.7 Модуль 7. Особенности экспертизы материалов инженерных изысканий, выполненных с целью обеспечения исходными данными численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений.**

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
7.	<b>Модуль 7. Особенности экспертизы материалов инженерных изысканий, выполненных с целью обеспечения исходными данными численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений.</b>	8	8	-	-	-
7.1.	Особенности инспекционного контроля испытательных лабораторий. Требования к компетентности испытательных лабораторий. Аттестация и аккредитация геотехнических лабораторий. Правовая оценка процедуры аккредитации.	4	4	-	-	-
7.2.	Типовые нарушения, выявленные в ходе проведения экспертизы материала-	4	4	-	-	-

№ п/п	Разделы, темы	Всего, часов	В том числе, часов			Форма контроля
			Л	У П	СР	
	лов инженерно-геологических и геотехнических изысканий. Практические примеры ошибочных построений математических моделей грунтовых оснований зданий и сооружений.					

#### IV.3.8 Программа лекционных занятий

**Тема 1.1.** Основные положения федерального законодательства по безопасности зданий и сооружений. Законодательство в области цифровизации производственных процессов. Индустрия 4.0. Актуальные цифровые платформы для глобального ускорения развития технологий инженерных изысканий. Развитие нормативной базы по инженерно-геологическим и геотехническим изысканиям. **(2 часа)**.

**Тема 1.2.** Основные принципы цифрового грунтоведения **(2 часа)**.

**Тема 1.4.** Цифровая платформа DigitRock для интерпретации данных лабораторных испытаний грунтов с использованием нейротехнологий и технологии BigData. Реализация новых нормативных требований (ГОСТ 12248.3.-2020) при разработке программного обеспечения по интерпретации геотехнических данных. **(2 часа)**.

**Тема 1.5.** Основные аспекты развития технологий полевых испытаний грунтов оснований зданий и сооружений. Современные установки глубинного статического зондирования. Демонстрация инновационной установки статического зондирования. **(2 часа)**.

**Тема 1.6.** Определение свойств грунтов методами инженерной геофизики. Перспективы использования геофизических данных в целях численного моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений. Комплексование геотехнических и геофизических технологий в рамках концепций цифрового грунтоведения. **(4 часа)**.

**Тема 2.1.** Использование метода конечных элементов (МКЭ) в расчетах грунтовых оснований. Действующие нормативы по численному моделированию. Требования к составлению программы работ и технического задания. Основные принципы геотехники **(2 часа)**.

**Тема 2.2.** Понятие расчетных моделей грунта на примере моделей: линейной упругости (LE), Мора-Кулона (MC), уплотняющегося грунта (HS), уплотняющегося грунта при малых деформациях (HSS). Особенности применения моделей SoftSoil (SS), SoftSoil Creep (SSC), NGI-ADP **(2 часа)**.

**Тема 2.3.** Научные и практические основы испытаний грунтов методом трехосных сжатий. Расчет геостатического давления. Метод восстановления фазового состава. Методы ускорения и снижения себестоимости трехосных испытаний грунтов, отвечающие требованиям действующих нормативных документов Статический, кинематический и динамический режимы испытаний. Дренажные и недренажные испытания. Особенности диаграмм Мора-Кулона. Принцип Терцаги. Недренажная прочность грунтов. **(4 часа)**.

**Тема 3.1.** Современные представления о расчетном сопротивлении грунтов. Учет истории нагружения и анизотропии напряженно-деформированного состояния грунтового основания при оценке расчетного сопротивления грунтов. Обоснование выбора нелинейной модели грунтового основания с позиций оценки максимального расчетного сопротивления грунтов основания. **(4 часа)**.

**Тема 3.2.** Особенности нелинейных моделей грунтов. Критерии прочности. Поверхности текучести. Шатровые модели грунтов. Статус пластических точек. Пластический потенциал. Технология определения характеристик переуплотнения (POP, OCR, PCP) и показателей дилатансии. Влияние дилатансии на прочностные свойства грунтов. Влияние переуплотнения и дилатансии на параметры шатровых моделей грунтов. Учет дилатансии грунтов при проектировании свайных полей. **(2 часа)**.

**Тема 4.1.** (Научные и практические основы определения динамических свойств грунтов. Современные сервопневматические и сервогидравлические циклические установки трехосного сжатия. Принцип действия резонансной колонки. **2 часа)**.

**Тема 4.4.** Комплексирование геотехнических и геофизических методов. **(2 часа)**.

**Тема 7.1.** Особенности инспекционного контроля испытательных лабораторий. Требования к компетентности испытательных лабораторий. Аттестация и аккредитация геотехнических лабораторий. Правовая оценка процедуры аккредитации. **(4 часа)**.

**Тема 7.2.** Типовые нарушения, выявленные в ходе проведения экспертизы материалов инженерно-геологических и геотехнических изысканий. Практические примеры ошибочных построений математических моделей грунтовых оснований зданий и сооружений. **(4 часа)**.

#### **IV.3.9 Программа учебной практики**

**Тема 1.3.** Инновационные лабораторные методы определения состава и свойств грунтов оснований зданий и сооружений. Современное оборудование и программное обеспечение геотехнической лаборатории. Испытательное оборудование ведущих мировых производителей. Импортзамещение в геотехнике. Инновационная разработка геотехнического оборудования на базе КБ «ПрогрессГео». Реестр средств измерений РФ. Экскурсия по испытательной лаборатории. **(4 часа)**

**Тема 2.4.** Методы лабораторного определения входных параметров грунтовых моделей программного комплекса численного моделирования (Plaxis, MIDAS GTS NX). Модель Мора-Кулона (MC), модифицированная модель Мора-Кулона (MMC), упругопластическая модель с уплотнением грунта Hardening Soil (HS). Особенности калибровки нелинейных моделей грунтов. **(4 часа)**.

**Тема 3.2.** Особенности нелинейных моделей грунтов. Критерии прочности. Поверхности текучести. Шатровые модели грунтов. Статус пластических точек. Пластический потенциал. Технология определения характеристик переуплотнения (POP, OCR, PCP) и показателей дилатансии. Влияние дилатансии на прочностные свойства грунтов. Влияние переуплотнения и дилатансии на параметры шатровых моделей грунтов. Учет дилатансии грунтов при проектировании свайных полей. **(2 часа)**.

**Тема 3.3.** Особенности инструментальных определений входных параметров расчетной модели Hardening soil (HS) посредством использования камеры трехосного сжатия типа Б в режиме K<sub>0</sub>-консолидации. Определение коэффициента бокового давления в состоянии покоя и коэффициента поперечного расширения при повторном нагружении. Коэффициент бокового давления для нормально уплотненных и переуплотненных грунтов. Влияние параметров переуплотнения на формирование напряженно-деформированного состояния подземных сооружений и бортов глубоких котлованов. **(2 часа)**.

**Тема 4.3.** Расчет НДС грунтового массива, вмещающего транспортный тоннель, при помощи программных комплексов PLAXIS, MIDAS GTS NX. Демонстрация принципа деградации сдвиговой жесткости Гардина-Дрневича. **(2 часа)**.

**Тема 5.1.** Типы поведения моделей: Drained, Undrained A, Undrained B. Особенности определения прочностных и деформационных характеристик грунтов в недреннированном режиме. Расчет времени консолидации грунтового основания здания/сооружения. Корректировка темпов возведения сооружения с учетом темпов диссипации порового давления. **(2 часа)**.

**Тема 5.2.** Решение фильтрационной задачи и расчет устойчивости грунтовой плотины. Лабораторные технологии определения коэффициента фильтрации, коэффициентов фильтрационной и вторичной (ползучести) консолидации глинистых грунтов в одометрическом режиме. **(2 часа)**.

**Тема 5.3.** Расчет расхода грунтовых вод через заданное сечение грунтовой плотины в режиме установившейся фильтрации. Модель фильтрации Вангенутхена. **(2 часа)**.

**Тема 6.1.** Особенности инженерных изысканий, направленных на получение исходных данных для проектирования подземных сооружений. Анализ влияния типа модели грунтов на параметры напряженно-деформируемого состояния грунтового массива в зоне влияния подземного сооружения. **(2 часа)**.

**Тема 6.2.** Оценка влияния нового строительства на существующую застройку. Анализ формирования точек пластического течения и потенциальной поверхности разрушения на этапе строительства котлована. **(4 часа)**.

#### IV.3.10 Самостоятельная работа слушателей

Вид самостоятельной работы	Модуль 3	Модуль 5	Всего
Проработка конспектов лекций и подготовка к опросу, часов	2	4	6
<b>Итого, часов</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>

#### Примеры вопросов для проверки самостоятельной подготовки

##### Модуль 3. Нелинейные модели грунтов

1. Почему появилось цифровое грунтоведение как отдельное направление? В чем достоинства и недостатки данного направления?
2. Принципы цифрового грунтоведения.
3. Норматив, регламентирующий требования к компетентности испытательных лабораторий.
4. Виды лабораторного оборудования, применяемого для определения прочностных и деформационных свойств грунтов.
5. Лабораторное оборудование, позволяющее определить угол внутреннего трения и удельное сцепление грунтов.
6. Принципиальная схема установки трехосного сжатия.
7. Основные режимы испытаний грунтов с помощью установки трехосного сжатия.
8. Применение статического зондирования в целях оценки параметров нелинейных моделей грунтов.
9. Применение метода восстановления фазового состава (ВФС) и противодействия (ПД) для водонасыщения образцов грунтов.
10. Характеристики грунтов, определяемые при неконсолидированно-недренированных испытаниях грунтов.
11. Методы ускорения трехосных испытаний грунтов, отвечающие требованиям действующих нормативных документов.
12. Принцип Терцаги. Расчет эффективных напряжений в грунтовом массиве.
13. Наименования современных программных средств численного моделирования грунтовых оснований.
14. Нормативные документы, регламентирующие применение метода конечных элементов для расчета грунтовых оснований.

##### Модуль 5. Геотехнические и фильтрационные расчеты

1. Основные упругопластические модели, используемые в программном средстве численного моделирования грунтовых оснований PLAXIS.
2. Критерии прочности, используемые в механике грунтов.
3. Определение упругих и пластических деформаций грунтов. Упруго-идеально пластическая модель грунта Мора-Кулона.

4. Основные аналитические зависимости модели уплотняющегося грунта Hardening Soil (HS).
5. Особенности модели уплотняющегося грунта при малых деформациях Hardening Soil Small (HSS).
6. Полный перечень входных параметров моделей HS и HSS, используемых в программном комплексе PLAXIS.
7. Преимущества модели HSS, проявляющиеся при расчете глубины сжимаемой толщи под фундаментом здания.
8. Основные принципы моделей Soft Soil (SS) и Soft Soil Creep (SSC). Определение коэффициентов первичной и вторичной консолидации грунтов лабораторными методами.
9. Технология определения коэффициента бокового давления в состоянии покоя  $K_0$  и коэффициента поперечного расширения  $\nu$  грунтов при помощи камеры трехосной испытаний типа Б.
10. Основные принципы калибровки модели грунта. Возможности программного модуля Soil Test.

## Критерии оценивания построений в конечно-элементном комплексе

Характеристика ответа	Оценка
Создана конечно-элементная модель, адекватно отражающая поведение грунтового массива и конструктивных элементов. Правильно выбраны типы элементов и модели материала. Отсутствует излишняя детализация, сделаны необходимые, но не излишние упрощения. Положена качественная конечно-элементная сетка. Физические допущения, адекватные целям расчета. Граничные условия отражают реальные условия нагружения и закрепления грунта. Правильно смоделированы и заданы этапы строительства. Произведен расчет. Проведен анализ на адекватность полученных результатов. Обучающийся может обосновать все принятые решения.	<i>Зачет</i>
Допущены принципиальные ошибки при моделировании. Произведено излишнее упрощение геометрии. Допущена ошибка в разделении на этапы строительства. Присутствуют области в конечно-элементной сетке, провоцирующие безосновательные с точки зрения работы грунтового массива концентрации напряжений, или неправильно подобранный размер элементов в области градиента напряжений. Получен результат расчета, противоречащий физическим законам. Расчет не производится или заканчивается ошибкой. Обучающийся не может аргументировать принятые решения моделирования.	<i>Незачет</i>

### IV.4 Оценка качества освоения программы. Формы аттестации и оценочные материалы

Оценка качества освоения программы осуществляется при проведении:

- промежуточной аттестации обучающихся в форме опроса и выполнения практических заданий;
- итоговой аттестации обучающихся в форме зачета.

Промежуточная аттестация проводится в форме опроса или задания практического характера (задачи) по окончании каждого модуля. Промежуточная аттестация должна выявить уровень освоения обучающимися пройденного модуля и тем, изученных в рамках этого модуля, а также наличие профессиональных компетенций, совершенствование и формирование которых проводилось в ходе реализации модулей данной программы.

Промежуточная аттестация осуществляется преподавателем непосредственно на учебных занятиях. Вопросы для опроса и практические задания для промежуточной аттестации готовятся преподавателем.

Итоговая аттестация должна выявить уровень освоения обучающимися данной образовательной программы и наличие у него профессиональных компетенций, формирование и совершенствование которых проводилось в ходе ее реализации. Слушатель допускается к итоговой аттестации после прохождения всех учебных модулей в объеме, предусмотренном учебным планом программы и успешного прохождения промежуточной аттестации в конце каждого модуля.

Итоговая аттестация проводится в форме зачета, в ходе которого обучающемуся предлагается ответить на вопросы билета. Итоговый зачет принимает аттестационная комиссия из трех человек. Состав комиссии утверждается директором. В состав комиссии входит председатель, член экзаменационной комиссии, секретарь. Качество освоения программы обучающихся на зачете осуществляется по двухбалльной системе оценивания: зачет/незачет.

Билеты для проведения итоговой аттестации составляются преподавателем из примерных вопросов и заданий, являющихся частью программы.

### **Примеры контрольных вопросов для итоговой аттестации:**

1. Виды лабораторного оборудования, применяемого для определения прочностных и деформационных свойств грунтов.
2. Основные упругопластические модели, используемые в программном средстве численного моделирования грунтовых оснований PLAXIS.
3. Норматив, регламентирующий требования к компетентности испытательных лабораторий.
4. Основные принципы цифрового грунтоведения.
5. Лабораторное оборудование, позволяющее определить угол внутреннего трения и удельное сцепление грунтов.
6. Применение статического зондирования в целях оценки параметров нелинейных моделей грунтов.
7. Принципиальная схема установки трехосного сжатия.
8. Основные режимы испытаний грунтов с помощью установки трехосного сжатия.
9. Применение метода восстановления фазового состава (ВФС) и противодействия (ПД) для водонасыщения образцов грунтов.
10. Характеристики грунтов, определяемые при неконсолидированно-недренированных испытаниях грунтов.
11. Принцип Терцаги. Расчет эффективных напряжений в грунтовом массиве.
12. Критерии прочности, используемые в механике грунтов.
13. Определение упругих и пластических деформаций грунтов. Упруго-идеально пластическая модель грунта Мора-Кулона.
14. Расчет геостатического давления в грунтовом массиве. Форма эпюры напряжения в грунтовом массиве, включающем в себя водоупорный слой.
15. Методы ускорения трехосных испытаний грунтов, отвечающие требованиям действующих нормативных документов.
16. Основные этапы расчета напряженно-деформированного состояния грунтового основания методом конечных элементов.
17. Наименования современных программных средств численного моделирования грунтовых оснований.
18. Нормативные документы, регламентирующие применение метода конечных элементов для расчета грунтовых оснований.
19. Требования к составлению технического задания по определению входных параметров нелинейных моделей грунтов.
20. Основные положения программы работ по расчету грунтовых оснований численными методами.
21. Основные аналитические зависимости модели уплотняющегося грунта Hardening Soil (HS).
22. Особенности модели уплотняющегося грунта при малых деформациях Hardening Soil Основные принципы моделей Soft Soil и Soft Soil Creep. Определение коэффициентов первичной и вторичной консолидации грунтов лабораторными методами.

23. Влияние выбора математической модели грунта на результаты расчета осадки здания/сооружения.

24. Технология определения коэффициента бокового давления в состоянии покоя  $K_0$  и коэффициента поперечного расширения  $\nu$  грунтов при помощи камеры трехосной испытаний типа Б.

25. Полный перечень входных параметров моделей HS и HSS, используемых в программном комплексе PLAXIS.

26. Преимущества модели HSS, проявляющиеся при расчете глубины сжимаемой толщи под фундаментом здания.

27. Определение деформационных характеристик грунтов  $G_0$  и  $\gamma_{0,7}$  при помощи циклического стабилметра и резонансной колонки. Особенности использования сейсмоакустических методов для оценки значения начального модуля сдвига  $G_0$ .

28. Принципиальная схема циклической сервогидравлической установки трехосного сжатия. Возможности сервогидравлических и сервопневматических стабилметров.

29. Основные принципы калибровки модели грунта. Возможности программного модуля Soil Test.

30. Динамические свойства дисперсных грунтов (сейсморазжижение, виброразжижение, виброползучесть, вибропрочность, виброустойчивость). Возможности лабораторного оборудования по определению свойств грунтов в условиях динамического воздействия.

### Пример практического задания для итоговой аттестации

Расчет деформаций грунтового основания здания при помощи программного комплекса PLAXIS

### Критерии оценивания итоговой аттестации слушателей:

Характеристика ответа	Процент	Оценка
Слушатель глубоко и прочно усвоил материал по программе, исчерпывающе, последовательно, четко его излагает, свободно справляется с вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических заданий.	70-100	<i>Зачет</i>
Выставляется слушателю, который не знает значительной части теоретического материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания.	Менее 70	<i>Незачет</i>

## **V. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ**

### **V.1 Материально-техническое обеспечение программы**

Наименование учебного помещения	Вид занятий	Оснащение
Аудитория	Лекция, практические занятия	Компьютер, электронная доска, демонстрационный монитор, лицензионное программное средство PLAXIS
Лаборатория	Экскурсия	Компрессионные приборы, установки одноплоскостного среза и трехосного сжатия.

### **V.2 Кадровое обеспечение**

К реализации программы привлекаются педагогические работники, квалификация которых соответствует требованиям Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел «Квалификационные характеристики должностей работников образования»:

«Высшее профессиональное образование или среднее профессиональное образование по направлению подготовки «Образование и педагогика» или в области, соответствующей преподаваемому предмету, без предъявления требований к стажу работы либо высшее профессиональное образование или среднее профессиональное образование и дополнительное профессиональное образование по направлению деятельности в образовательном учреждении без предъявления требований к стажу работы».

### **V.3 Нормативно-правовое и учебно-методическое обеспечение программы**

#### **V.3.1 Нормативные правовые акты**

1. Федеральные законы и постановления Правительства Российской Федерации в области градостроительной деятельности:
  - «Градостроительный кодекс РФ»;
  - «Гражданский кодекс РФ»;
  - «О техническом регулировании»;
  - «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;
  - «О саморегулируемых организациях» и др.
2. Постановления Правительства Российской Федерации в области градостроительной деятельности:
  - постановление Правительства РФ от 19 января 2006 г. № 20 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства»;

- постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»;
- постановления Правительства РФ от 05 марта 2007 г. № 145 (с изменениями), от 31 марта 2012 г. № 272;
- распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1047-р;
- приказ Минрегионразвития от 30.12.2009 г. № 624;
- приказы Рос стандарта от 1 июня 2010 г. № 2079 и от 18 мая 2011 г. № 2244 и др.

### 3. Нормативная литература

- 1) ГОСТ 25100 -2011 Грунты. Классификация.
- 2) ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
- 3) ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
- 4) ГОСТ 56353-2015. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов.
- 5) ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
- 6) ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
- 7) СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*)
- 8) СП 23.13330 СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85. Приложение Б.
- 9) СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
- 10) ASTM D 6528 Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils (Withdrawn 2016).
- 11) ASTM D4186. Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soil using controlled-strain loading. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- 12) ASTM D2435. Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soil using incremental loading. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- 13) EN 1997-1. Eurocode 7. Geotechnical Design. Part 2: Design assisted by laboratory and field-testing.

### **V.3.2 Учебно-методическое обеспечение программы**

#### *Учебная и научно-исследовательская литература*

1. Берлинов М.В. Основания и фундаменты. М., Изд-во Высшая школа, 1999.
2. Болдырев Г.Г., Малышев М.В. Механика грунтов, основания и фундаменты. Пенза, ПГУАС, 2009.
3. Болдырев Г.Г., Скопинцев Д.Г. Методические вопросы определения модулей деформации дисперсных грунтов. Журнал «Инженерные изыскания», № 10-11, 2016, стр. 24-36.

4. Болдырев Г.Г. Методы определения механических характеристик грунтов. Состояние вопроса//ПГУАС, Пенза. 2008.- 696с.
5. Вознесенский Е.А., Никитин М.С., Сенцова Е.А. Методические вопросы определения параметров моделей, учитывающих повышение жесткости грунтов при малых деформациях. Журнал «Геотехника», №2, 2016, стр. 4-162.
6. Кочерженко В.В. Технология возведения подземных сооружений. М., Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2000.
7. Ломтадзе В.Д. и др. Методика исследований физико-механических свойств горных пород. Изд-во Недра, 1972.
8. Пособие по моделям материалов Plaxis 2D. МИП «Информатика», СПб, 2018.
9. Пособие по расчетам MIDAS GTS NX, Midas Information Technology Co. Ltd, 2018.
10. Строкова Л.А. Определение параметров начального напряженного состояния грунта  $K_0$  и OCR для нелинейных упругопластических моделей. Журнал «Геотехника». №2 2012.
11. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике. СПб, ПИ «Геореконструкция», 2010.
13. Федоренко Е.В. Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах. СПб, WWW/DARIKNIGI.RU, 2016. MIDAS Information
14. Becker D.E., Crooks J.H.A., Been K., Jefferies M.G. Works as a criterion for determining in-situ and yield stresses in clays // Canadian Geotechnical Journal. 1987. V. 24. № 4. P. 549–564.
15. Bishop A.W., Henkel D.J. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test/A.W. Bishop, D.J. Henkel, Edward Arnold-е изд., London:, 1957.
16. Bolton M.D. The strength and dilatancy of sands // Geotechnique. 1986. № 1 (36). С. 65-78.
17. Brinkgreve R.B.J., Engin E., Swolfs W.M. Plaxis 3D. Руководство пользователя / R.B.J. Brinkgreve, E. Engin, W.M. Swolfs, Санкт-Петербург: ООО «НИП-Информатика», 2011.
18. Duncan J.M., Chang C.. Nonlinear analysis of stress and strain in soil // ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations. 1970. (96). С. 1629-1653.
19. Janbu N. Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests Wiesbaden:, 1963. 19-25 с.
20. Kondner R.L. A hyperbolic stress strain formulation for sands Brazil: 1963. 289-324 с.
21. Rowe P.W. The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact 1962. 500-527 с.
22. Schanz T., Vermeer P.A. Angles of friction and dilatancy of sand // Geotechnique. 1996. № 46. С. 145-151.
23. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening-soil model: Formulation and verification Rotterdam: Brinkgreve R.B.J., 1999. 281-290 с.
24. Schanz T. Vermeer P.A., Bonnier P.G. The hardening soil model: formulation and verification.// Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 years of PLAXIS. Balkema, Rotterdam, 1999
25. Soos P. von Properties of soil and rock (in German) / P. von Soos, Berlin: Ernst & Sohn, 1990.

26. Vermeer P.A., De Borst R. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock / P.A. Vermeer, R. De Borst, Heron, 1984. 62 c.