

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения текущей и промежуточной аттестации

по учебной дисциплине  
Б.1.Б.29«Термодинамика»

для направления подготовки 21.05.04 «Горное дело»

Профиль подготовки «Подземная разработка рудных месторождений»

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

Форма обучения - очная

Семестр Наименование дисциплины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>ОПК-4 Готовность с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр</b>											
Б1.Б.9 Физика		+	+	+							
Б1.Б.10 Химия		+									
Б1.Б.14 Общая геология	+	+									
Б1.Б.15 Электротехника						+					
Б1.Б.24 Горно-промышленная экология						+					
Б1.Б.25 Гидромеханика			+								
Б1.Б.29 Термодинамика						+					
Б1.Б.44 Физико-химическая геотехнология							+				
Б1.В.ДВ.3.2 Ресурсосберегающие технологии горного производства								+			
Б2.У.1 Геологическая практика		+									
Б.3 Государственная итоговая аттестация											+
Этапы формирования компетенций	1	2	3	4		5	6	7			8
<b>ОПК-5 Готовность использовать научные законы и методы при геолого-промышленной оценке месторождений твердых полезных ископаемых и горных отвалов</b>											
Б1.Б.14 Общая геология	+	+									
Б1.Б.24 Горно-промышленная экология						+					
Б1.Б.28 Физика горных пород					+						
Б1.Б.29 Термодинамика						+					
Б1.В.ОД.5 Управление качеством руд при добыче										+	
Б1.В.ДВ.3.2 Ресурсосберегающие технологии горного производства								+			
Б2.НИР Научно-исследовательская работа											+
Б.3 Государственная итоговая аттестация											+

Этапы формирования компетенций	1	2			3	4		5		6	7
<b>ОПК-9 Владение методами анализа, знанием закономерностей поведения и управления свойствами горных пород и состоянием массива в процессах добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных сооружений</b>											
Б1.Б.18 Теоретическая механика					+						
Б1.Б.19 Материаловедение		+									
Б1.Б.28 Физика горных пород					+						
Б1.Б.29 Термодинамика						+					
Б1.Б.34 Геомеханика						+					
Б.3 Государственная итоговая аттестация											+
Этапы формирования компетенций		1			2	3					4

Форма обучения - заочная

Семестр Наименование дисциплины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>ОПК-4 Готовность с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр</b>													
Б1.Б.9 Физика		+	+	+									
Б1.Б.10 Химия		+											
Б1.Б.14 Общая геология	+	+											
Б1.Б.15 Электротехника						+							
Б1.Б.24 Горно-промышленная экология						+							
Б1.Б.25 Гидромеханика			+										
Б1.Б.29 Термодинамика							+						
Б1.Б.44 Физико-химическая геотехнология								+					
Б.1.В.ДВ.3.2 Ресурсосберегающие технологии горного производства									+				
Б.2.У.1 Геологическая практика		+											
Б3 Государственная итоговая аттестация												+	
Этапы формирования компетенций	1	2	3	4		5	6	7	8			9	
<b>ОПК-5 Готовность использовать научные законы и методы при геолого-промышленной оценке месторождений твердых полезных ископаемых и горных отвалов</b>													

Б1.Б 14 Общая геология	+	+											
Б1.Б.24 Горно-промышленная экология						+							
Б1.Б.28 Физика горных пород					+								
Б1.Б 29 Термодинамика							+						
Б1.В.ОД 5 Управление качеством руд при добыче											+		
Б1.В.ДВ.3.2 Ресурсосберегающие технологии горного производства									+				
Б.2.НИР Научно-исследовательская работа												+	
Б3 Государственная итоговая аттестация												+	
Этапы формирования компетенций	1	2			3	4	5		6		7	8	
<b>ОПК-9 Владение методами анализа, знанием закономерностей поведения и управления свойствами горных пород и состоянием массива в процессах добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных сооружений</b>													
Б1.Б.18 Теоретическая механика					+								
Б1.Б.19 Материаловедение		+											
Б1.Б.28 Физика горных пород					+								
Б1.Б 29 Термодинамика							+						
Б1.Б 34 Геомеханика						+							
Б3 Государственная итоговая аттестация												+	
Этапы формирования компетенций		1			2	3	4					5	

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

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация обучающихся проводятся в целях установления соответствия достижений обучающихся поэтапным требованиям образовательной программы к результатам обучения и формирования компетенций.

### **2.1. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования (промежуточная аттестация)**

Компетенции	Показатели	Критерии в соответствии с уровнем освоения ОП			Оценочное сред-ство (промежу-точная аттеста-ция)	
		пороговый (удовлетворительно)	стандартный (хорошо)	эталонный (отлично)		
ОПК-4	Знать	Знает основы термодинамики природных процессов; термодинамические условия геологического изучения массива горных пород.	Знает о тепловых свойствах горных пород; термодинамических процессах, протекающих в массивах горных пород.	Знает о характере влияния тепловых свойств разрабатываемых горных пород на параметры термодинамических процессов горного производства.	Контрольные вопро-сы. Тестирование	
	Уметь	Умеет анализировать горно-геологические условия и горнотехнические особенности месторождений полезных ископаемых для эффективного промышленного освоения.	Умеет оценивать горно-геологические условия и горнотехнические особенности месторождений полезных ископаемых.	Умеет обосновывать методы повышения эффективности промышленного освоения месторождений с учетом их горно-геологических условий и горнотехнических особенностей.		Контрольные работы
	Владеть	Владеет навыками использования инженерных расчетов в определении возможности и направленности геологических процессов.	Владеет методами инженерных расчетов при анализе геологических процес-сов образования ми-нералов, горных по-род и руд.	Владеет методами инженерных расче-тов и принципами моделирования при-родных процессов при геологическом изучении массивов горных город.		
ОПК-5	Знать	Имеет общие знания о методах получения, преобразования, передачи и использо-вания теплоты в объ-еме, необходимом для дальнейшей уче-бы и предстоящей работы по профес-сии, справляющийся с выполнением зада-ний.	Обладает необходи-мым уровнем знаний о методах получения, преобразования, пе-редачи и использо-вания теплоты, успешно выполняю-щий предусмотрен-ные программой за-дания, показавшим систематический ха-рактер знаний.	В полном объеме знает методы полу-чения, преобразова-ния, передачи и ис-пользования тепло-ты, проявляющий творческие способ-ности в понимании, изложении и исполь-зовании учебного материала.	Контрольные вопросы. Тестирование	
	Уметь	Умеет применять знания законов термодинамики, тепло-и массообмена при определении пара-метров технологиче-ских процессов гор-	Умеет выявлять ос-новные закономер-ности изменения па-раметров технологи-ческих процессов горного производ-ства в зависимости	Умеет определять особенности тепло-вого воздействия окружающего масси-ва горных пород на параметры технологи-ческих процессов		Контрольные ра-боты

		ного производства.	от теплового состояния массива горных пород.	горного производства и оптимизировать их.	
	Владеть	Владеет принципами определения теплофизических параметров горных пород при оценке эффективности промышленного освоения месторождений полезных ископаемых.	Владеет расчетными методами определения теплофизических характеристик горных пород при изучении геологических особенностей месторождений полезных ископаемых.	Владеет методами, средствами измерений и контроля теплофизических свойств горных пород при геолого-промышленной оценке месторождений полезных ископаемых.	Контрольные работы
ОПК-9	Знать	Знает основные законы термодинамики, тепло- и массообмена, влияющие на характер природных процессов в массивах горных пород, горных выработках и выработанном пространстве.	Знает начала термодинамики, тепло- и массообмена, влияющие на характер природных процессов в массивах горных пород, горных выработках и выработанном пространстве.	Имеет глубокие знания о постулатах термодинамики, тепло- и массообмена, влияющих на характер природных процессов в массивах горных пород, горных выработках и выработанном пространстве.	Контрольные вопросы. Тестирование
	Уметь	Умеет принимать оптимальные технические решения при добыче и переработке полезных ископаемых в конкретных горно-геологических условиях ведения горных работ.	Умеет применять современные технические средства реализации термодинамических процессов горного производства при добыче и переработке полезных ископаемых.	Умеет проектировать технологические процессы добычи и переработки полезных ископаемых, связанные с тепловым воздействием.	Контрольные работы
	Владеть	Владеет навыками расчета основных термовлажностных параметров состояния шахтного воздуха; способен рассчитывать основные технологические показатели при проведении горных выработок специальными способами; производить тепловые расчеты процессов горного производства.	Владеет методами определения тепло- и массообмена в горных выработках; способами повышения прочности горных пород при проведении горных выработок в неустойчивых массивах; способен рассчитывать технологические показатели физико-химических геотехнологий.	Владеет инструментами воздействия на температурный режим рудничного воздуха; способен проектировать технологии проведения горных выработок в сложных горно-геологических условиях; оптимизировать технологические параметры при добыче и переработке полезных ископаемых физико-химическими методами.	Контрольные работы

**Критерии оценивания промежуточной аттестации в случае** оценки «неудовлетворительной» - «удовлетворительной» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **2.2. Критерии и шкалы оценивания результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости**

Текущий контроль предназначен для проверки хода и качества формирования компетенций, стимулирования учебной работы обучаемых и совершенствования методики освоения новых знаний. Он обеспечивается проведением семинаров, оцениванием контрольных заданий, проверкой конспектов лекций, выполнением индивидуальных и творческих заданий, периодическим опросом обучающихся на занятиях. Контролируемые разделы (темы) дисциплины, компетенции и оценочные средства представлены в таблице.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия термодинамики	ОПК-4; ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
2	Термодинамические процессы	ОПК-4; ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
3	Фазовые переходы в горных породах	ОПК-4; ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
4	Тепловые свойства минералов и горных пород	ОПК-4; ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
5	Основы химической термодинамики	ОПК-4; ОПК-5	Решение ситуационных задач. Тестирование.
6	Потоки жидких и газовых теплоносителей	ОПК-4; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
7	Теплообмен в горных породах	ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
8	Методы расчета основных параметров тепловых процессов	ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
9	Тепло земных недр	ОПК-4; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
10	Теплообмен в горных выработках	ОПК-5; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
11	Замораживание горных пород при	ОПК-9	Решение ситуационных

	проведении выработок		задач. Тестирование.
12	Проектирование способов замораживания горных пород при проведении выработок	ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
13	Подземная выплавка серы	ОПК-4; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
14	Подземная газификация твердого топлива	ОПК-4; ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.
15	Термическое и термодинамическое разрушение пород	ОПК-9	Решение ситуационных задач. Тестирование.

### ***Критерии и шкала оценивания ситуационных задач***

<i>Оценка</i>	<i>Критерий оценки</i>
«зачтено»	<i>Задача решена верно, без существенных замечаний</i>
«не зачтено»	<i>Задача не решена или решена со значительными замечаниями</i>

### ***Критерии и шкала оценивания тестирования***

<i>Оценка</i>	<i>Критерий оценки</i>
«зачтено»	<i>Выполнение более 60% тестовых заданий</i>
«не зачтено»	<i>Выполнение менее 60% тестовых заданий</i>

Частные критерии оценок текущей успеваемости вырабатываются кафедрой по каждой читаемой ею дисциплине, обсуждаются на кафедре и утверждаются заведующим кафедрой.

### ***2.3. Критерии и шкалы оценивания результатов обучения при проведении промежуточной аттестации***

Промежуточная аттестация предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины. Для оценивания результатов обучения при проведении промежуточной аттестации используется четырехбалльная шкала: «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно», «Неудовлетворительно».

<i>Шкала оценивания</i>	<i>Критерии</i>	<i>Уровень освоения компетенций</i>
<i>Отлично</i>	<i>наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы</i>	<i>Эталонный</i>
<i>Хорошо</i>	<i>наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала</i>	<i>Стандартный</i>

<i>Удовлетворительно</i>	<i>наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов, правильные действия по применению знаний на практике</i>	<i>Пороговый</i>
<i>Неудовлетворительно</i>	<i>наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы.</i>	<i>Компетенции не сформированы</i>

**3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

### **3.1. Оценочные средства текущего контроля успеваемости**

*Примеры тестов по дисциплине «Термодинамика»:*

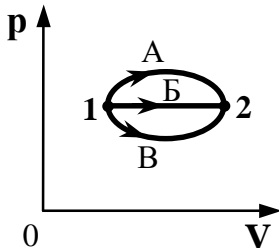
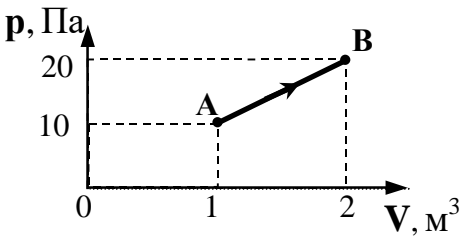
#### *Тест №1*

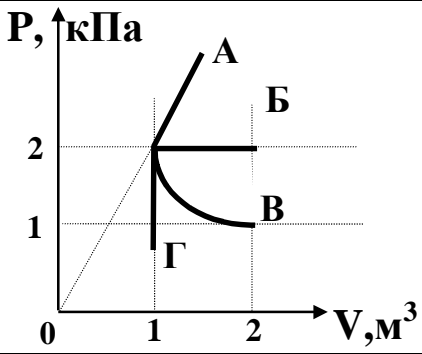
№	Вопрос	Варианты ответа
1	Какой процесс называется изотермическим? Процесс, происходящий...	1) при постоянной температуре 2) при постоянном давлении 3) при постоянном объеме 4) при постоянной теплоемкости
2	Внутренняя энергия заданной массы $m$ идеального газа зависит только от...	1) объема 2) давления 3) формы сосуда 4) температуры
3	Укажите все верные утверждения. Работа – 1) это скалярная величина; 2) это векторная величина; 3) измеряется в джоулях; 4) измеряется в киловатт-часах; 5) джоуль и ватт – секунда – это одно и то же; 6) джоуль и ватт – секунда – это не одно и то же.	1) 2 и 6 2) 1, 3, 4 и 5 3) 1, 4 и 6 4) 2 и 5
4	Как изменяется температура кристаллического тела с момента начала плавления до его окончания?	1) постепенно повышается 2) в начале плавления понижается, затем повышается 3) в начале плавления повышается, затем понижается 4) не изменяется
5	Какие из следующих процессов приводят к увеличению внутренней энергии тела:	1) 1, 3 и 5 2) 1, 3, 5 и 7 3) 2, 4 и 6

	1) нагревание; 2) охлаждение; 3) плавление; 4) кристаллизация; 5) парообразование; 6) конденсация; 7) ускоренное движение; 8) замедленное движение?	4) 2, 4, 6 и 7
6	Из приведенных выражений выберите для изохорного процесса уравнение этого процесса, выражение первого закона термодинамики и выражение для работы по расширению газа. 1) $V/T = \text{const}$ ; 2) $p/T = \text{const}$ ; 3) $pV = \text{const}$ ; 4) $pV = (M/m)RT$ ; 5) $Q = p\Delta V + \Delta U$ ; 6) $Q = \Delta U$ ; 7) $Q = A$ ; 8) $Q = 0$ ; 9) $A = p\Delta V$ ; 10) $A = 0$ ; 11) $A = Q$ ; 12) $A = -\Delta U$ .	1) 3, 7, 10 2) 2, 6, 10 3) 1, 5, 9 4) 4, 8, 12
7	Укажите единицу измерения величины, измеряемой произведением $p\Delta V$ .	1) ватт 2) паскаль 3) литр 4) джоуль
8	Какая работа (Дж) совершается при изохорном нагревании одного моля идеального газа на 20 К?	1) 4,05 2) при изохорном процессе работа не совершается 3) 8,31 4) 16,62
9	Вода превращается в лед при постоянной температуре 0°C. Поглощается или выделяется при этом энергия?	1) поглощается 2) выделяется 3) в зависимости от внешних условий может как поглощаться, так и выделяться 4) не поглощается и не выделяется
10	Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при изотермическом расширении?	1) $\Delta U = 0$ 2) $\Delta U > 0$ 3) $\Delta U < 0$ 4) Внутренняя энергия идеального газа всегда равна нулю

**Тест №2**

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Теплопередача всегда происходит от тела с...	1) большим запасом количества теплоты к телу с меньшим запасом количества теплоты 2) большей теплоемкостью к телу с меньшей

		теплоемкостью 3) большей температурой к телу с меньшей температурой 4) большей теплопроводностью к телу с меньшей теплопроводностью
2	Весной при таянии льда в водоеме температура окружающего воздуха...	1) уменьшается 2) увеличивается 3) не изменяется 4) может увеличиваться или уменьшаться
3	В каком из процессов перехода идеального газа из состояния 1 в состояние 2, изображенном на $pV$ -диаграмме (см. рисунок), газ совершает наибольшую работу? 	1) А 2) Б 3) В 4) во всех трех процессах газ совершает одинаковую работу
4	При переходе из состояния А в состояние В (см. рисунок) температура идеального газа... 	1) увеличилась в 4 раза 2) увеличилась в 2 раза 3) уменьшилась в 2 раза 4) уменьшилась в 4 раза
5	Как изменяется внутренняя энергия кристаллического вещества в процессе его плавления?	1) увеличивается для любого кристаллического вещества 2) уменьшается для любого кристаллического вещества 3) для одних кристаллических веществ увеличивается, для других – уменьшается 4) не изменяется
6	Какой из графиков, изображенных на рисунке соответствует процессу, проведенному при постоянной температуре газа?	1) А 2) Б 3) В 4) Г

		
7	Температура кристаллического тела при плавлении не изменяется. Внутренняя энергия вещества при плавлении...	1) увеличивается 2) не изменяется 3) уменьшается 4) может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от кристаллической структуры тела
8	Температура кипения воды зависит от...	1) мощности нагревателя 2) вещества сосуда, в котором нагревается вода 3) атмосферного давления 4) начальной температуры воды
9	Внутренняя энергия идеального газа при его охлаждении...	1) увеличивается 2) уменьшается 3) увеличивается или уменьшается в зависимости от изменения объема 4) не изменяется
10	Какой процесс произошел в идеальном газе, если изменение его внутренней энергии равно нулю?	1) изобарный 2) изотермический 3) изохорный 4) адиабатический.

**Примеры ситуационных задач по дисциплине «Термодинамика»:**

**Ситуационная задача №1**

**Задание:** Определить работу разрушения при термическом дроблении негабаритного куска гранита объемом  $V$  путем его разогрева по поверхности пробуренного в нем шпура. При этом средняя температуры негабарита изменялась от температуры  $T_1$  до  $T_2$ . Средний коэффициент объемного теплового расширения гранита в указанном диапазоне температур  $\omega_0$  приведен в таблице. Предел прочности гранита на растяжение равен  $\sigma_p = 15 \cdot 10^6$  Па.

№ варианта	$T_1, \text{K} (^{\circ}\text{C})$	$T_2, \text{K} (^{\circ}\text{C})$	$V, \text{m}^3$	$\omega_0, 1/\text{K}$
1	289 (16 °C)	295 (22 °C)	1,8	$1,9 \cdot 10^{-5}$
2	290 (17 °C)	296 (23 °C)	2,0	$2,0 \cdot 10^{-5}$
3	291 (18 °C)	297 (24 °C)	2,0	$2,0 \cdot 10^{-5}$
4	292 (19 °C)	298 (25 °C)	2,2	$2,0 \cdot 10^{-5}$
5	293 (20 °C)	298 (25 °C)	2,4	$1,9 \cdot 10^{-5}$
6	294 (21 °C)	300 (27 °C)	2,6	$2,0 \cdot 10^{-5}$
7	295 (22 °C)	300 (27 °C)	2,5	$2,0 \cdot 10^{-5}$
8	280 (7 °C)	287 (14 °C)	2,7	$2,1 \cdot 10^{-5}$
9	283 (10 °C)	289 (16 °C)	2,8	$2,1 \cdot 10^{-5}$

10	285 (12 °C)	292 (19 °C)	3,0	$2,1 \cdot 10^{-5}$
----	-------------	-------------	-----	---------------------

### Ситуационная задача №2

**Задание:** Определить изменение внутренней энергии негабаритного куска гранита при его термическом разрушении. Условия соответствуют ситуационной задаче №1. средняя объемная теплоемкость гранита  $C_v$  для соответствующего диапазона температур от  $T_1$  до  $T_2$  приведена в таблице.

№ варианта	$T_1$ , К (°C)	$T_2$ , К (°C)	$V$ , м <sup>3</sup>	$C_v$ , Дж/(м <sup>3</sup> ·К)
1	289 (16 °C)	295 (22 °C)	1,8	$1,5 \cdot 10^3$
2	290 (17 °C)	296 (23 °C)	2,0	$1,5 \cdot 10^3$
3	291 (18 °C)	297 (24 °C)	2,0	$1,5 \cdot 10^3$
4	292 (19 °C)	298 (25 °C)	2,2	$1,6 \cdot 10^3$
5	293 (20 °C)	298 (25 °C)	2,4	$1,6 \cdot 10^3$
6	294 (21 °C)	300 (27 °C)	2,6	$1,7 \cdot 10^3$
7	295 (22 °C)	300 (27 °C)	2,5	$1,7 \cdot 10^3$
8	280 (7 °C)	287 (14 °C)	2,7	$1,3 \cdot 10^3$
8	283 (10 °C)	289 (16 °C)	2,8	$1,4 \cdot 10^3$
9	285 (12 °C)	292 (19 °C)	3,0	$1,5 \cdot 10^3$

### Ситуационная задача №3

**Задание:** В горной выработке высотой  $H$  произошло обрушение из кровли куска породы массой  $m$ . Температура куска породы и окружающей среды  $T$ . Определить изменение энтропии системы «кусок породы – почвы выработки». Исходные данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы.

№ варианта	$H$ , м	$m$ , кг	$T$ , К (°C)
1	3,0	500	288 (15 °C)
2	3,5	500	290 (17 °C)
3	4,0	600	292 (19 °C)
4	4,5	600	292 (19 °C)
5	5,0	700	295 (22 °C)
6	6,0	700	295 (22 °C)
7	6,5	800	297 (24 °C)
8	7,0	800	297 (24 °C)
9	7,5	1000	283 (10 °C)
10	8,0	1000	283 (10 °C)

### Ситуационная задача №4

**Задание:** Определить удельную работу трения воды в единицу времени (работу трения воды массой 1 кг за время 1 с) при ее фильтрации в массиве горных пород с горизонта  $h_1$  на горизонт  $h_2$ , если скорость фильтрации при этом уменьшилась с  $W_1$  до  $W_2$  м/с. Считаем, что вода не имеет твердых примесей. Удельный объем воды принять равным  $V =$

$10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг. Давление увечилось до  $49 \cdot 10^4$  Па. Данные, необходимые для решения задачи, выбрать из таблицы.

№ варианта	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$W_1$ , м/с	$W_2$ , м/с
1	500	550	0,05	0,04
2	510	560	0,05	0,04
3	500	570	0,04	0,03
4	520	590	0,04	0,03
5	530	580	0,05	0,04
6	540	590	0,05	0,04
7	600	650	0,05	0,04
8	610	660	0,05	0,04
9	600	670	0,04	0,03
10	610	680	0,04	0,03

### **Ситуационная задача №5**

**Задание:** Рассчитать параметры потока в сопле Лавалья и его размеры (площадь, диаметр в критическом сечении и на выходе. Длину расширяющейся части) для того, чтобы получить сверхзвуковое истечение высокотемпературной струи термобура при расходе керосина  $G_k$ , кг/с и давление сжатого воздуха  $P_1$ . Для полного сгорания 1 кг керосина требуется 14,7 кг воздуха. Газовая постоянная двуокиси углерода  $R = 188,9$  Дж/(кг·К). Температура сгорания керосина в сжатом воздухе  $T_1 = 2000$  К. Показатель изэнтропии для двуокиси углерода  $K_0 = 1,31$ . Давление на выходе из сопла Лавалья принять равным  $P_2 = 10^5$  Па. Скорость звука в продуктах сгорания  $a = 269$  м/с. Исходные данные приведены в таблице

№ варианта	$G_k$ , кг/с	$P_1$ , Па
1	0,0417	$6,0 \cdot 10^5$
2	0,0418	$6,1 \cdot 10^5$
3	0,0419	$6,2 \cdot 10^5$
4	0,0420	$6,3 \cdot 10^5$
5	0,0421	$6,4 \cdot 10^5$
6	0,0422	$6,5 \cdot 10^5$
7	0,0423	$6,6 \cdot 10^5$
8	0,0424	$6,7 \cdot 10^5$
9	0,0425	$6,8 \cdot 10^5$
10	0,0426	$6,9 \cdot 10^5$

### **Ситуационная задача №6**

**Задание:** Определить температуру горных пород  $T_n$  на глубине  $H = 1000$  м. Глубина нейтрального слоя (расстояние от земной поверхности до пород с постоянной температурой) равной  $h_n$ . Температура пород в нейтральном слое (примерно среднегодовая температура атмосферного воздуха в районе) равна  $T_n$ . Геотермический градиент района (изме-

нение температуры пород, приходящееся на 1 м глубины) равен  $\Gamma$ . Необходимые расчетные данные приведены в таблице.

№ варианта	$h_n$ , м	$T_n$ , °С	$\Gamma$ , °С/м
1	20	10	0,03
2	22	9	0,03
3	24	8	0,04
4	26	7	0,04
5	28	6	0,05
6	30	5	0,05
7	32	4	0,06
8	34	3	0,06
9	36	2	0,07
10	38	1	0,07

**Примеры контрольных работ по дисциплине «Термодинамика»:**

**Раздел «Тепловые свойства горных пород и расчет термодинамических параметров их состояния»**

**Контрольная работа №1**

**Задание:** Построить графики зависимостей удельной теплоемкости, тепло- и температуропроводности горной породы заданного состава (таблица 1) от температуры  $T$  при ее изменении от 293 К (20 °С) до 773 К (500 °С). Теплофизические свойства породообразующих минералов при температуре 293 К (20 °С) приведены в таблица 2.

Таблица 1

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Минеральный состав куска, % (по объему):										
- гранит	35	40	30	75	-	-	-	-	20	40
- известняк	65	60	70	25	35	60	70	20	80	60
- песчаник	-	-	-	-	65	40	30	80	-	-

Таблица 2

Наименование показателя	Величина		
	Гранит	Известняк	Песчаник
Плотность $\gamma_i$ , кг/м <sup>3</sup>	2722	2478	2630
Удельная теплоемкость $c_i$ , Дж/(кг·К)	916,9	887/6	963,0
Удельная теплопроводность $\lambda_i$ , Вт/(м·К)	1,637	0,724	1,482
Константы, входящие в формулы зависимостей величин $c_i$ и $\lambda_i$ от $T$ :			
- А	0,20	0,38	0,70

- $n$ , Дж/(кг·К·°С)	1,40	2,40	2,33
- $\epsilon$ , 1/°С	0,00027	0,00035	0,00025

### Контрольная работа №2

**Задание:** Определить удельное тепловое сопротивление  $\xi_{zn}$  ((м·К)/Вт) и удельную теплопроводность  $\lambda_{zn}$  (Вт/(м·К)) горной породы ранее заданного состава (таблица 1) при  $T = 20$  °С с учетом ее пористости  $P$  и водонасыщенности порового пространства  $K_v$  (таблица 3).

Таблица 3

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P$ , отн.ед.	0,04	0,09	0,06	0,07	0,08	0,01	0,10	0,03	0,12	0,05
$K_v$ , отн.ед.	0,50	0,55	0,60	0,45	0,70	0,35	0,80	0,25	0,40	0,15

### Контрольная работа №3

**Задание:** Определить энтальпию  $I$  (Дж) и энтропию  $S$  (Дж/К) куска горной породы заданного состава и объема  $V$  (м<sup>3</sup>) при температуре  $T$  (таблица 4). Изменение изобарной удельной теплоемкости  $C_P$  (Дж/(кг·К)) от стандартной температуры  $T = 298$  К (25 °С) до заданной температуры происходит по закону

$$C_P = 4,187(X + Y \cdot T - Z \cdot T^2) / \mu,$$

где  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – постоянные коэффициенты;

$\mu$  – молекулярная масса минерала, кг/моль.

Значения теплофизических констант породообразующих минералов приведены в таблице 5.

Таблица 4

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Минеральный состав куска, % (по объему):										
- магнетит Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	35	40	40	35	30	35	35	30	32	36
- гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	25	20	25	25	25	20	20	18	22
- кварц SiO <sub>2</sub>	35	35	40	40	45	40	45	50	50	42
Объем куска $V$ , м <sup>3</sup>	1,2	1,9	1,3	1,8	1,4	1,1	1,5	1,0	1,6	1,2
Температура $T$ , К	404	422	402	420	404	418	406	416	408	414

Таблица 5

Наименование показателя	Величина		
	Магнетит	Гематит	Кварц
Плотность $\gamma_i$ , кг/м <sup>3</sup>	5200	5250	2640
Молекулярная масса $\mu_i$ , кг/моль	0,23155	0,15970	0,06009
Стандартная удельная :			

- энтальпия $i_{298}$ , Дж/кг	106000	97500	115000
- энтропия $s_{298}$ , Дж/(кг·К)	650	850	687
Значения констант:			
- X	39,22	23,49	11,22
- Y	0,01886	0,01860	0,00820
- $Z \cdot 10^{-5}$	10,01	3,55	2,70

#### **Контрольная работа №4**

**Задание:** Определить работу разрушения и изменение внутренней энергии негабаритного куска горной породы объема  $V$  (таблица 6) с начальной температурой  $T_1 = 293$  К при его термическом дроблении путем разогрева по поверхности пробуренного в нем шпура.

Считать, что при заданном способе дробления другие виды работ, кроме работы расширения куска породы, отсутствуют; удельная объемная теплоемкость  $C_V$  и коэффициент теплового расширения  $\omega$  в данном диапазоне температур постоянны; разрушение куска негабарита происходит в тот момент, когда давление расширения породы, направленное перпендикулярно радиуса шпура, достигнет при нагреве величины  $\sigma_p$ .

Таблица 6

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем куска $V$ , м <sup>3</sup>	0,8	1,6	1,2	1,8	1,9	2,0	1,9	1,0	1,6	1,4
Среднее значение объемной теплоемкости $C_V$ , Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	1600	1620	1640	1660	1680	1580	1610	1630	1650	1670
Среднее значение коэффициента теплового расширения горной породы $\omega \cdot 10^5$ , 1/К	2,0	2,1	2,2	2,1	2,0	2,1	2,2	2,0	1,9	1,8
Температура негабарита при его разрушении $T_2$ , К	313	311	309	307	305	303	301	306	312	310
Предел прочности породы на растяжение $\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	150	155	160	165	170	165	160	155	150	145

### **Раздел «Расчет процессов тепло- и массообмена в горных выработках»**

#### **Контрольная работа №5**

**Задание:** Определить коэффициент теплоотдачи горной выработки конвекцией  $\alpha$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К)) при исходных данных, приведенных в таблице 7, для следующих вариантов:

А) выработка сухая, стенки гладкие, крепь круглая деревянная (диаметр стоек крепи  $d$ , расстояние между осями стоек по длине выработки  $l$ );

Б) выработка влажная, стенки гладкие, без крепи;

В) выработка сухая, крепь – набрызгбетон (толщина крепи  $\delta$ , удельная теплопроводность набрызгбетона  $\lambda$ ).

Плотность воздуха  $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ , его температура  $T_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблица 7

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь поперечного сечения выработки $S, \text{ м}^2$	4,5	5,6	8,6	6,8	7,2	7,6	6,0	8,2	5,2	9,6
Средний периметр сечения выработки в свету $П, \text{ м}$	8,5	10,0	12,0	10,8	11,2	11,5	10,4	11,8	9,6	12,5
Расход воздуха $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	11,2	15,5	22,8	18,4	19,3	20,9	18,0	20,6	12,7	24,3
$d, \text{ м}$	0,20		0,25		0,20		0,20		0,25	
$l, \text{ м}$	1,6	1,5	2,0	1,4	1,2	1,5	1,3	2,2	1,5	2,0
$\delta, \text{ м}$	0,05		0,20		0,10		0,15		0,10	
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	1,6	2,5	1,3	2,2	1,2	1,8	1,4	2,0	2,2	2,6
Барометрическое давление $B, \text{ Па}$	96000		99000		102000		98000		100000	

### Контрольная работа №6

**Задание:** Определить основные термодинамические параметры состояния шахтного воздуха и параметры влагообмена по условиям предыдущей контрольной работы (вариант Б - выработка влажная). Относительная влажность воздуха  $\varphi = 0,96$ ,

### Контрольная работа №7

**Задание:** Определить значение коэффициента нестационарного теплообмена  $k_{\tau}$  ( $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ) и температуру стенки выработки  $\theta_c$  при расчетном времени охлаждения горных пород  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Исходные данные приведены в таблице 8.

Таблица 8

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расчетное время охлаждения горных пород:										
- $\tau_1, \text{ ч}$	1	5	10	5	1	10	1	5	5	10
- $\tau_2, \text{ лет}$	5	4	3	6	7	8	5	4	9	2
Коэффициент теплоотдачи $\alpha, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	18,5	20,0	22,0	17,8	21,2	15,5	20,4	18,8	19,6	16,5

Площадь поперечного сечения выработки $S$ , м <sup>2</sup>	8,2	6,5	11,8	9,4	9,3	7,9	8,0	6,6	5,7	10,3
Коэффициент теплопроводности пород $\lambda$ , Вт/(м·К)	2,4		1,6		2,2		1,8		2,0	
Коэффициент температуропроводности пород $a \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /с	1,8		1,2		3,0		2,4		3,8	
Температура пород в массиве $t_n$ , °С	27	23	21	19	25	28	20	22	24	26
Температура воздуха $t_b$ , °С	12	14	16	15	13	14	16	17	18	18

### Контрольная работа №8

**Задание:** Определить значение коэффициента гармонического теплообмена  $k_{gm}$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К)) для заданного месяца года (1 - январь, 2 - февраль и т.д.) и исходных данных, приведенных в таблице 9. Максимальное отклонение сезонной температуры от среднегодовой  $\omega_e = 42$  °С.

Таблица 8

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Месяц года	2	12	5	10	11	8	7	1	6	3
Среднегодовая температура воздуха $t_{cp}$ , °С	-2	-4	+5	-6	+2	-5	+4	-3	+6	-1
Температура горной породы в массиве $\theta_n$ , °С	16	27	18	21	20	17	24	15	28	30
Коэффициент теплопроводности горной породы $\lambda$ , Вт/(м·К)	3,2	4,5	3,3	4,4	3,2	4,3	3,1	4,2	3,0	3,8
Коэффициент температуропроводности горной породы $a \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с	0,83	0,98	1,02	1,06	1,08	1,10	1,12	0,80	0,85	0,92
Коэффициент теплоотдачи горной выработки $\alpha_0$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	12,4	8,4	14,6	7,5	10,7	6,9	10,3	13,4	12,0	9,8

### Контрольная работа №9

**Задание:** Определить амплитуду колебаний годовой температуры воздуха  $\omega_L$  (°С) в воздухоподающем стволе глубиной  $L$  и диаметром  $D$  (м) в свету и исходных данных, приведенных в таблице 9.

Приращение температуры движущегося по стволу воздуха от сжатия и влагообмена  $\theta' = 0,0048$  °С/м; плотность воздуха  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 9

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L$ , м	400	600	800	960	980	500	700	450	900	650
$D$ , м	5,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	6,2	7,2	8,2
Количество подаваемого воздуха $Q$ , м <sup>3</sup> /с	60	90	100	125	140	150	180	80	110	140
Амплитуда колебаний температуры воздуха на поверхности $\omega$ , °С	42	46	38	37	48	52	60	44	55	66
Удельная теплопроводность стенки ствола $\lambda$ , Вт/(м·К)	1,44	4,12	2,08	3,76	1,85	2,43	3,90	4,34	3,56	3,38
Коэффициент теплопроводности стенки ствола $\alpha \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с	0,85	1,02	0,95	0,88	1,46	0,78	0,90	0,92	1,25	1,36

### Раздел «Тепловые расчеты процессов горного производства»

#### Контрольная работа №10

**Задание:** Определить толщину однослойной изоляции  $\delta_{из}$  (м) из пенополиуретана, не допускающую протаивания стенок выработки более чем на  $R_{\delta} = 2$  м за срок ее эксплуатации  $\tau = 10^5$  ч (~ 10 лет) при отсутствии конвективного теплообмена при граничных условиях первого рода и исходных данных, приведенных в таблице 10. Коэффициент теплопроводности пенополиуретана  $\lambda_{из} = 0,035$  Вт/(м·К), начальная температура горных пород  $T_0 = -2$  °С; температура плавления льда  $T_{пл} = 0$  °С; удельная теплота плавления льда  $L_{пл} = 0,32 \cdot 10^6$  Дж/кг. Определить допускаемую глубину протаивания стенок выработки, при которой условие протаивания на глубину не больше допускаемой  $R_{\delta}'$  (м) будет выполняться без изоляции.

Таблица 10

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Плотность породы $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	2200	2500	2150	2450	2230	2400	2250	2350	2100	2300
Влажность породы $W$ , отн.ед.	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04
Удельная теплопроводность талой породы $\lambda_n$ , Вт/(м·К)	1,28	1,36	1,44	1,60	1,18	1,40	1,53	1,32	1,56	1,30
Коэффициент теплопроводности мерзлой породы $\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	0,695	0,766	0,630	0,565	0,745	0,662	0,724	0,587	0,612	0,684
Температура воздуха в выработке $T_{в}$ , °С	+2	+3	+2	+3	+4	+3	+2	+4	+3	+2

### Контрольная работа №11

**Задание:** Определить основные технологические показатели процесса искусственного замораживания горных пород рассольным способом (нагрузку на ледопородное ограждение, толщину его стенки, схему расположения замораживающих скважин, продолжительность замораживания и потребную мощность замораживающей станции) перед проходкой вертикального ствола диаметром вчерне  $D$  (м) при исходных данных, приведенных в таблице 11.

Тип пород - обводненные пески средней крупности. Диаметр замораживающей колонки  $d_k = 0,15$  м; температура рассола  $T_p = -26$  °С; температура стенки замораживающей колонки  $T_{cm} = -18$  °С; конечная температура замороженной горной породы  $T_n = -12$  °С. Коэффициент запаса прочности  $k = 2,5$ .

Таблица 11

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D$ , м	5,5	9,0	6,0	8,5	6,5	8,0	7,0	5,5	7,5	6,0
Глубина замораживания $H_1$ , м	100	90	80	70	60	50	40	65	75	45
Мощность водоносных пород $H_2$ , м	20	22	18	24	16	25	15	23	17	21
Плотность горной породы $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	1400	1550	1350	1300	1450	1500	1320	1480	1420	1360
Пористость пород $n$ , %	3,0	3,2	4,5	4,4	3,5	3,8	4,0	3,6	4,2	3,4
Угол внутреннего трения талых пород $W_m$ , град.	15	30	18	27	20	25	23	17	26	19
Прочность замороженных пород на сжатие $\sigma_c$ , МПа	11,0	11,5	12,0	12,5	10,8	11,4	12,3	11,2	12,4	10,6
Расстояние между замораживающими скважинами $l$ , м	1,2	1,6	1,3	1,5	1,4	1,2	1,6	1,3	1,5	1,4
Плотность льда $\gamma_l$ , кг/м <sup>3</sup>	920	880	850	910	900	940	870	890	930	860
Удельная теплоемкость породного скелета $C_n$ , Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	750	920	780	900	800	880	820	860	840	720
Удельный земной теплоприток $U$ , кДж/м <sup>2</sup>	16	17	25	24	18	19	23	22	20	21
Удельная теплопроводность замороженной породы $\lambda$ , Вт/(м·К)	3,50	2,80	3,35	2,95	3,20	3,10	2,90	3,05	2,75	2,85
Удельная теплота ледообразования $r$ , кДж/кг	314	296	284	276	256	224	244	308	265	237

Начальная температура горной породы $T_0$ , °С	8,0	7,0	6,5	6,0	5,5	6,0	8,0	7,5	7,0	6,5
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### Контрольная работа №12

**Задание:** Определить химический КПД  $\eta$  (%) подземной газификации углей (ПГУ) при исходных данных, приведенных в таблице 12.

Таблица 12

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип исходного угля	каменный					бурый				
Содержание углерода в угле $C$ , %	73,3	73,5	73,7	73,9	74,1	40,0	40,2	40,5	39,6	39,2
Удельная теплота сгорания угля $Q_u$ , кДж/кг	2857 0	2859 0	2961 0	2963 0	2965 0	1502 0	1510 0	1520 0	1500 0	1495 0
Концентрация кислорода в дутье, %	21	55	95	21	95	21	45	95	45	21

### Контрольная работа №13

**Задание:** Определить основные технологические параметры процесса подземной выплавки серы (ПВС) при исходных данных, приведенных в таблице 13.

Таблица 13

Наименование показателя	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пористость серного пласта $\Pi$ , отн. ед.	0,12	0,20	0,19	0,13	0,18	0,14	0,15	0,17	0,11	0,10
Объем серы в 1 м <sup>3</sup> руды $\nu$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> )	0,15	0,22	0,21	0,15	0,20	0,16	0,16	0,18	0,13	0,12
Начальная температура пород $T_0$ , °С	10	12	14	16	18	17	15	13	11	20
Плотность руды $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	2360		2480		2540		2650		2450	
Удельная теплоемкость руды $C_p$ , Дж/кг	854	820	812	864	947	843	835	795	928	776
Мощность серного пласта $h$ , м	15	14	1210	16	18	20	13	11	17	
Объемный расход перегретой воды $q_w$ , м <sup>3</sup> /с	0,005		0,010		0,006		0,008		0,007	
Радиус зоны плавления серы $R$ , м	6	13	8	11	10	9	12	7	14	15

Плотность серы  $\gamma_c = 2060$  кг/м<sup>3</sup>; плотность перегретой воды  $\gamma_w = 960$  кг/м<sup>3</sup>; температура перегретой воды, подаваемой в серный пласт,  $T_w = 160$  °С (433 К); необходимая температура нагрева серного пласта  $T_n = 157$  °С (430 К); температура плавления серы  $T_{пл} =$

119 °С (392 К); удельная теплоемкость серы  $C_c = 1860$  Дж/(кг·К); удельная теплоемкость перегретой воды  $C_e = 4200$  Дж/(кг·К); удельная теплота плавления серы  $L_{пл} = 49370$  Дж/кг; коэффициенты извлечения серы при ПВС - технологический  $\varepsilon_m = 0,85$ , общий  $\varepsilon = 0,45$ .

### Контрольная работа №14

**Задание:** Определить объемную  $V_0$  (м<sup>3</sup>/с) и линейную  $V$  (м/с) скорость хрупкого термического разрушения при бурении скважины с плоским и полусферическим забоем в железистых кварцитах (содержание кварца и магнетита по 50 %), а также температуру минерального зерна на глубине зарождения трещины  $T_z$  (°С) при исходных данных, приведенных в таблице 14. Физико-механические свойства кварца, магнетита и железистого кварцита (коэффициент линейного теплового расширения  $\beta$  (1/К), модуль упругости Юнга  $E$  (Па), коэффициент Пуассона  $\mu$ , модуль всестороннего сжатия  $K$  (Па), модуль сдвига  $G$  (Па), пределы прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  и растяжение  $\sigma_p$  (Па) приведены в таблице 15.

Таблица 14

Наименование показателя	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр скважины $D$ , м	0,20	0,32	0,20	0,32	0,25	0,25	0,20	0,32	0,25	0,20
Температура теплоносителя в центре забоя $T_0$ , °С	125 0	128 0	130 0	126 0	132 0	122 0	134 0	120 0	135 0	118 0
Коэффициент теплоотдачи $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	320 0	332 0	280 0	334 0	300 0	318 0	340 0	315 0	275 0	307 0
Удельная теплопроводность породы $\lambda$ , Вт/(м·К)	3,26	3,54	2,53	2,85	3,88	4,07	3,36	2,65	3,43	3,62
Коэффициент температуропроводности горной породы $a \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с	2,80	3,24	3,05	2,76	3,33	2,97	3,19	3,42	3,55	2,56
Параметр распределения температуры на забое скважины $\delta$ , м	0,065	0,105	0,065	0,105	0,080	0,080	0,065	0,105	0,080	0,065

Таблица 15

Минерал	$\beta \cdot 10^5$ , 1/К	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$K \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_c \cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_p \cdot 10^{-10}$ , Па
Кварц	1,30	9,51	0,07	3,70	4,44	4000	210
Магнетит	1,60	23,19	0,26	16,10	9,20	520	140

Железистый кварцит: - № варианта								
1	1,50	15,10	0,20	7,90	6,35	2050	175	
2	1,52	15,14	0,18	7,88	6,40	2020	180	
3	1,54	15,18	0,16	7,86	6,45	2000	185	
4	1,48	15,22	0,15	7,84	6,38	1980	190	
5	1,46	15,08	0,17	7,80	6,36	1960	170	
6	1,49	15,04	0,19	7,92	6,41	1990	172	
7	1,51	15,00	0,21	7,91	6,43	2010	182	
8	1,53	15,05	0,20	7,89	6,37	2040	188	
9	1,47	15,15	0,18	7,87	6,39	1970	178	
10	1,55	15,20	0,17	7,85	6,44	2030	186	

### **3.2. Оценочные средства промежуточной аттестации**

#### **Примерные вопросы на зачет по дисциплине «Термодинамика»:**

1. Термодинамика горных пород. Цели и задачи.
2. Термодинамические системы и их параметры. Термодинамические процессы. Уравнения состояния.
3. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и внешняя работа.
4. Энтальпия и энтропия. Второй и объединенный законы термодинамики.
5. Термодинамический КПД. Термодинамическая вероятность.
6. Химическая термодинамика. Цели и задачи. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса и его следствия.
7. Химическое равновесие. Уравнение Кирхгофа.
8. Фазовые переходы в горных породах. Правило фаз Гиббса. Полиморфные превращения.
9. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Уравнения термодинамики основных фазовых переходов.
10. Уравнение Пойнтинга. Давление в сосуществующих фазах при искривленной поверхности их раздела.
11. Уравнение первого закона термодинамики для потоков жидких и газообразных теплоносителей.
12. Основные уравнения процессов течения жидкости и газа. Уравнение Бернулли.
13. Сопло Лавая. Температура адиабатного торможения потока.
14. Теплоемкость минералов и горных пород и ее зависимость от температуры. Уравнение Майера.
15. Тепло- и температуропроводность минералов и горных пород. Их зависимость от температуры.

16. Тепловое расширение минералов и горных пород. Остаточные температурные деформации.
17. Зависимость упругих и прочностных свойств минералов и горных пород от температуры.
18. Зависимость электрических и магнитных свойств минералов и горных пород от температуры.
19. Комплексы физических свойств горных пород и их зависимость от температуры.
20. Мерзлые породы как термодинамические системы. Теплофизические свойства мерзлых и многофазных пород.
21. Основной закон и дифференциальные уравнения теплопроводности. Уравнение Лапласа.
22. Тепловые режимы. Краевые условия. Условия однозначности.
23. Граничные условия. Сущность, виды, область применения.
24. Виды теплоносителей и теплообмена. Пограничный слой и механизм конвективного теплообмена. Методы определения теплофизических свойств теплоносителей.
25. Требования к тепловому режиму в подземных выработках. Источники тепловыделения и методы нормализации температурного режима.
26. Процессы теплопереноса в недрах Земли. Источники и термодинамические параметры.
27. Количественные и качественные особенности теплового режима горных выработок в зоне многолетней мерзлоты.
28. Расчет процессов массообмена в горных выработках. Показатели процесса массообмена.
29. Расчет процессов теплообмена в горных выработках. Показатели процесса теплообмена.
30. Критерии подобия в термодинамике. Физический смысл и пределы их изменений.
31. Безразмерные величины, имеющие смысл критериев подобия в термодинамике. Физический смысл и пределы их изменений.
32. Критерии подобия Фурье, Био, Кирпичева. Физический смысл. Область применения.
33. Термовлажностные параметры состояния шахтного воздуха.
34. Приближенные аналитические методы расчета температурного поля горных пород вокруг выработок.
35. Аналитические методы расчета процессов тепло- и массообмена в горных выработках.
36. Методы расчета основных параметров нагрева горных пород.

37. Расчет глубины промерзания связных пород при отсутствии теплоизолирующего покрытия.
38. Расчет глубины промерзания связных пород при использовании теплоизолирующего покрытия.
39. Проходка выработок с предварительным замораживанием горных пород. Сущность, область применения, технология, режимы.
40. Технологические схемы замораживания горных пород перед проходкой горизонтальных и наклонных выработок.
41. Дополнительные мероприятия при замораживании горных пород перед проведением горных выработок в сложных условиях.
42. Проектирование процесса замораживания горных пород перед проходкой выработок. Расчет процесса рассольного замораживания.
43. Азотное замораживание горных пород перед проходкой выработок. Сущность, область применения, технологические схемы. Особенности расчета.
44. Замораживание горных пород охлажденным воздухом. Сущность, область применения, технологические схемы. Особенности расчета.
45. Огневое бурение и расширение скважин. Сущность и расчетные схемы.
46. Термомеханическое бурение скальных пород. Сущность, методы, расчетные схемы.
47. Подземная газификация углей. Сущность. Методы. Расчет основных показателей.
48. Подземная выплавка серы. Сущность. Расчет основных технологических показателей.
49. Социальная значимость использования тепла земных недр. Социальная значимость безлюдной выемки серы. Социальная значимость подземной газификации угля в аспектах экономики, безопасности.

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

##### ***4.1. Описание процедур проведения текущего контроля успеваемости студентов***

В таблице представлено описание процедур проведения контрольно-оценочных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов, в соответствии с рабочей программой дисциплины, и процедур оценивания результатов обучения с помощью спланированных оценочных средств.

Наименование оценочного средства	Описания процедуры проведения контрольно-оценочного мероприятия и процедуры оценивания результатов обучения
Контрольная работа	Выполнение контрольной работы осуществляется на практических занятиях. Распределение вариантов осуществляется преподавателем. Преподаватель на занятии, предшествующем занятию проведения контроля, доводит до обучающихся: тему, контрольной работы и время выполнения работы. Работа оформляется студентами самостоятельно и сдаются на проверку преподавателю. Студент, представивший работу и получивший положительные оценки, допускается до зачета по дисциплине.
Ситуационная задача	Выполнение ситуационной задачи осуществляется на практическом занятии. Распределение вариантов осуществляется преподавателем. Преподаватель на практическом занятии, предшествующем занятию проведения контроля, доводит до обучающихся: тему, количество заданий и время выполнения заданий. Результаты решения задач оформляются студентами самостоятельно и сдаются на проверку преподавателю
Тестирование	Тестирование проводится по результатам освоения разделов дисциплины во время практических занятий. Во время проведения тестирования пользоваться учебниками, справочниками, конспектами лекций, тетрадями для практических занятий не разрешено. Преподаватель на практическом занятии, предшествующем занятию проведения теста, доводит до обучающихся: темы, количество заданий в тесте время выполнения.

#### ***4.2. Описание процедур проведения промежуточной аттестации***

##### ***Дифференцированной зачет***

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. При выполнении и защите контрольных работ студент допускается к сдаче дифференцированного зачета.

При определении уровня достижений обучающихся на дифференцированном зачете учитывается:

- знание программного материала дисциплины;
- знания, необходимые для решения ситуационных задач, умение выполнять предусмотренные программой контрольные работы;
- владение методологией дисциплины, умение применять теоретические знания в нестандартных ситуациях при решении ситуационных задач, обосновывать свои действия.

При оценивании знаний учитывается активность и качество знаний студента во время аудиторных занятий; качество подготовки и защиты контрольных работ; качество знания и умение применять горную терминологию; посещаемость лабораторных занятий. Обучающийся сдает зачет, который проводится в форме собеседования по перечню теоре-

тических вопросов из рассматриваемых разделов программы курса. Оценочные средства, используемые при текущем контроле, позволяют оценить знания, умения и владения навыками/опытом деятельности обучающихся при освоении дисциплины.

Перечень теоретических вопросов обучающиеся получают в начале семестра.