

**Приложение 2 к РПД «Сейсмические методы исследования массивов горных пород»  
21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства  
специализация №1 «Физические процессы горного производства»  
Форма обучения – очная  
Год набора – 2019**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства
3.	Специализация	№1 «Физические процессы горного производства»
4.	Дисциплина (модуль)	Сейсмические методы исследования массивов горных пород
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2019

**2. Перечень компетенций**

<p>— владением методами рационального и комплексного освоения георесурсного потенциала недр, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов; владением навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ПК-1);</p> <p>— готовностью демонстрировать умения использовать технические средства для оценки свойств горных пород и состояния массива, а также их влияния на параметры процессов добычи, переработки минерального сырья, строительства и эксплуатации подземных сооружений (ПК-18);</p> <p>— способностью осуществлять экспертизу технических и технологических проектных решений при добыче, переработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений и обосновывать внесение в них необходимых изменений (ПСК-1.5).</p>
---

### 3. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности и компетенций		
		Знать:	Уметь:	Владеть:			
1. Введение	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	методы рационального и комплексного освоения георесурсного потенциала недр, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов;	применять методы рационального и комплексного освоения георесурсного потенциала недр, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов	навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов	Реферат		
2. Распространение упругих волн в однофазных горных породах	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	- теории распространения сейсмических волн; - влияние свойств разрабатываемых горных пород и параметров воздействующих на них различных физических полей на показатели технологических процессов добычи и переработки полезных ископаемых, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов, а также при ведении работ по строительству и эксплуатации подземных сооружений	демонстрировать владение основными методами контроля и мониторинга параметров процессов добычи и переработки полезных ископаемых и обработки полученной информации	математическим аппаратом, используемым при обработке и интерпретации сейсмических данных	Практические работы		
3. Распространение упругих волн в насыщенных пористых горных породах	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5				Практическая работа		
4. Акустические волны в скважине	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5				Практическая работа		
5. Вертикальное сейсмическое профилирование	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5				Практические работы		
6. Прямая задача скважинной геоакустики	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	способы обработки материалов ВСП, акустического и ультразвукового методов.					
7. Обработка и интерпретация данных	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Методы обработки и интерпретации полученных результатов			исследовать процессы, протекающие в горных породах и массивах при воздействии физических полей и использовать полученные результаты для совершенствования процессов добычи и переработки полезных ископаемых	уверенным владением компьютерными технологиями как средствами управления и обработки информационных массивов	Практическая работа

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности и компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
8. Перспективы развития методов скважинной геоакустики	ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований	использовать научные законы и методы при геолого-промышленной оценке месторождений полезных ископаемых и горных отводов		Реферат

## 4. Критерии и шкалы оценивания

### 4.1. Практическая работа

10 баллов – студент решил все рекомендованные задания, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

8 балла – студент решил не менее 85% рекомендованных заданий, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

6 балла – студент решил не менее 65% рекомендованных заданий, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла – студент выполнил менее 50% заданий, и/или неверно указал варианты решения.

### 4.2. Реферат

Баллы	Характеристики ответа студента
10	<ul style="list-style-type: none"><li>— студент глубоко и всесторонне усвоил проблему;</li><li>— уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li><li>— опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью;</li><li>— умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li><li>— делает выводы и обобщения;</li><li>— свободно владеет понятиями</li></ul>
8	<ul style="list-style-type: none"><li>— студент твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на знания основной литературы;</li><li>— не допускает существенных неточностей;</li><li>— увязывает усвоенные знания с практической деятельностью;</li><li>— аргументирует научные положения;</li><li>— делает выводы и обобщения;</li><li>— владеет системой основных понятий</li></ul>
6	<ul style="list-style-type: none"><li>— тема раскрыта недостаточно четко и полно, то есть студент освоил проблему, по существу излагает ее, опираясь на знания только основной литературы;</li><li>— допускает несущественные ошибки и неточности;</li><li>— испытывает затруднения в практическом применении знаний;</li><li>— слабо аргументирует научные положения;</li><li>— затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li><li>— частично владеет системой понятий</li></ul>
2	<ul style="list-style-type: none"><li>— студент не усвоил значительной части проблемы;</li><li>— допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении ее;</li><li>— испытывает трудности в практическом применении знаний;</li><li>— не может аргументировать научные положения;</li><li>— не формулирует выводов и обобщений;</li><li>— не владеет понятийным аппаратом</li></ul>

**5. Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

## 5.1. Типовой пример практической работы

### Построение теоретических годографов отраженной и головной (преломленной) волн

#### Теоретическая часть

Сейсмические наблюдения выполняют на некоторой поверхности, чаще всего на поверхности Земли. По их результатам определяют времена прихода сейсмических волн в различных точках поверхности. Зависимость времени прихода волны от координат  $x$  и  $y$  точек наблюдений называется *поверхностным годографом сейсмической волны*. В общем случае поверхностный годограф сейсмической волны можно рассматривать как поле времен этой волны на поверхности наблюдений. Кроме поверхностных годографов в сейсморазведке часто используют линейные годографы, определяющие поле времен сейсмических волн на линии (профиле) наблюдений. Изучение годографов сейсмических волн имеет важное практическое значение.

*Кажущаяся скорость сейсмической волны. Закон Бендорфа.* Рассмотрим падение плоской сейсмической волны на некоторый прямолинейный участок  $\Delta x$  профиля наблюдений  $x$ . Направление падения волны определим углом  $e$ , который называется *углом выхода сейсмического луча*. Дополнительный угол  $\alpha = (90^\circ - e)$  называется *углом падения луча*. Запоздывание времени прихода волны  $\Delta t$  на участке  $\Delta x$ : зависит от разности путей волны  $\Delta n$  и скорости ее распространения в среде  $v$ :

$$\Delta t = \Delta n / v. \quad (1)$$

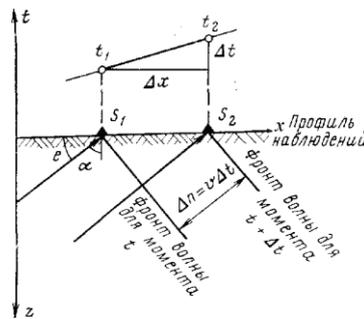


Рисунок 1 – Определение кажущейся скорости фронта волны

Наблюдателю, находящемуся на линии наблюдений, будет казаться, что за промежуток времени  $\Delta t$  волна пробежала расстояние  $\Delta x$ . Скорость перемещения следа фронта волны вдоль линии наблюдений называется *кажущейся скоростью*  $v_K$ :

$$v_K = \Delta x / \Delta t. \quad (2)$$

Связь между кажущейся и истинными скоростями и углом выхода (падения) луча называется *законом Бендорфа*. Используя выражения для кажущейся (2) и истинной (1) скоростей, а также учитывая, что  $\Delta x = \Delta n / \cos e$  или  $\Delta x = \Delta n / \sin \alpha$ , закон Бендорфа можно записать так:

$$v_K = \frac{\Delta n}{\Delta t \cos e} = \frac{v}{\cos e} \quad \text{или} \quad v_K = \frac{\Delta n}{\Delta t \sin \alpha} = \frac{v}{\sin \alpha}. \quad (3)$$

Из выражений (3) следует, что кажущаяся скорость изменяется от  $v_K = v$  при  $e = 0$  ( $\alpha = 90^\circ$ ) до  $v_K \rightarrow \infty$  при  $e = 90^\circ$  ( $\alpha = 0$ ).

*Годограф отраженной волны в случае плоской отражающей границы и однородной покрывающей среды.* Пусть отражающая граница  $RR$  (рисунок 2) составляет постоянный угол  $\varphi$  с линией наблюдения  $x$ , а источник расположен на поверхности в точке  $O$ , совмещенной с началом координат; ось  $z$  направлена вертикально вниз. Мнимый источник  $O^*$  следует поместить на перпендикуляре к границе на расстоянии  $2h$  от точки  $O$  (где  $h$  – глубина по нормали до отражающей поверхности под источником). Координаты мнимого источника

$$x_0 = 2h \sin \varphi; \quad z_0 = 2h \cos \varphi. \quad (4)$$

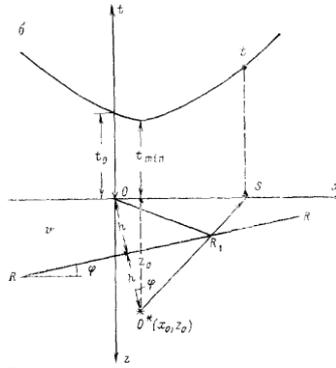


Рисунок 2 – Линейный годограф отраженной волны

Путь пробега отраженной волны в точку  $O^*$  равен  $2h$  и называется *эхо-глубиной*.  
 Время пробега волны вдоль нормального луча равно

$$t_0 = 2h/v. \quad (5)$$

Уравнение продольного линейного годографа отраженной волны:

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 - 4hx \sin \varphi + 4h^2}. \quad (6)$$

Кажущаяся скорость распространения фронта отраженной волны вдоль профиля  $x$  равна

$$v_k = 1 / \frac{dt}{dx} = v \sqrt{1 + \left(\frac{z_0}{x - x_0}\right)^2}. \quad (7)$$

*Годограф головной волны в случае плоской границы и однородной покрывающей среды.* Рассмотрим годограф от плоской границы раздела  $RR$  двух сред со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ , причем  $v_2 > v_1$ . Глубина залегания границы под источником  $h$ , угол наклона границы  $\varphi$ . Начало координат поместим в источник  $O$  (рисунок 3); направление осей координат  $x, z$  и  $t$  показано на рисунке.

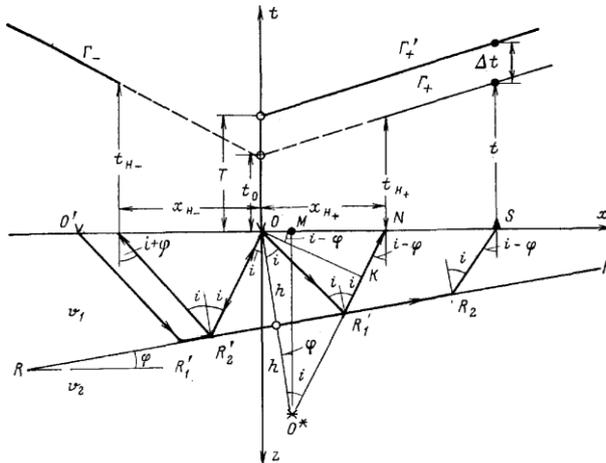


Рисунок 3 – Годограф головной (преломленной) волны (плоская преломляющая граница, однородная покрывающая среда)

Уравнение годографа головной волны по восстанию границы:

$$t_+ = \frac{1}{v_1} [x \sin(i - \varphi) + 2h \cos i] \quad (8)$$

Уравнение годографа по падению границы:

$$t_- = \frac{1}{v_1} [x \sin(i + \varphi) + 2h \cos i] \quad (9)$$

Объединив выражения (8) и (9), представим уравнение годографа головной волны в общем виде:

$$t_{\pm} = \frac{1}{v_1} [x \sin(i \mp \varphi) + 2h \cos i] \quad (10)$$

Координаты начальных точек годографа обозначены  $x_{H\pm}$  и  $t_{H\pm}$ . Из треугольника  $OKO^*$  имеем  $OK = 2h \sin \varphi$ . Из треугольника  $OKN$

$$x_{H+} = \frac{2h \sin i}{\cos(i - \varphi)}. \quad (11)$$

Из треугольников  $O^*MN$  и  $OMO^*$  следует:

$$t_{H+} = \frac{2h \cos \varphi}{v_1 \cos(i - \varphi)} \quad (12)$$

Координаты начальной точки годографа головной волны по падению границы:

$$x_{H-} = \frac{2h \sin i}{\cos(i + \varphi)}; \quad (13)$$

$$t_{H-} = \frac{2h \cos \varphi}{v_1 \cos(i + \varphi)}. \quad (14)$$

На участке профиля наблюдений между абсциссами начальных точек  $x_{H-}$  и  $x_{H+}$  головная волна не регистрируется («мертвая зона»).

Таким образом, годограф головной волны представлен двумя прямолинейными ветвями, которые разделены «мертвой зоной». Наклоны ветвей – различные и зависят от знака угла наклона  $\varphi$  границы. Ветвь годографа по падению имеет больший наклон, чем по восстанию границы. Если углы наклона границы достаточно большие, то могут выполняться следующие два неравенства:  $(i - \varphi) < 0$  – кажущаяся скорость по восстанию границы становится отрицательной, т.е. в дальние точки профиля наблюдений головная волна приходит раньше, чем в более близкие;  $(i + \varphi) > 90^\circ$  – величина  $x_{H-}$  неограниченно возрастает, как следует из (13), т.е. луч головной волны по падению границы не выходит к линии профиля. Таким образом, второе неравенство ограничивает возможность регистрации головной волны по падению границы.

#### Задание

1. Построить на миллиметровой бумаге годографы отраженной и головной волн. Модели сред согласно вариантам выдает преподаватель.
2. Границу на глубине  $h$  считать отражающей и преломляющей. Определить координату и время первого совместного прослеживания на поверхности отраженной и преломленной волн. Определить значение кажущейся скорости  $v_k$  в точках с координатами  $x = -1$  км и  $x = 1$  км. Вычисления проводить с шагом  $\Delta x = 50$  м до максимального удаления  $x = 3$  км.

#### 5.2. Примерные темы рефератов

12. Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП).
13. Метод ОГТ.
14. Азимутальные наблюдения в сейсморазведке.
15. Невзрывные источники сейсмических волн.
16. Вибросейс.
17. Группирование источников и приемников в сейсморазведке.
18. Акустический каротаж в сейсморазведке.
19. Глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ).
20. Рудная сейсморазведка.
21. Инженерная сейсмика.
22. Морская сейсморазведка.

#### 5.3. Вопросы к зачету

1. Общие вопросы проведения сейсмических работ в скважинах.
2. Роль акустических методов в общем комплексе геофизических исследований скважин.
3. Методики ВСП и ВСП-ОГТ.

4. Специфика прямых и обратных задач скважинной геоакустики.
5. Идеально упругие твердые среды.
6. Неидеально упругие среды.
7. Затухание звука. Дисперсия скорости и затухания.
8. Связь динамических и кинематических параметров упругих волн с литологическими и физико-механическими характеристиками горных пород. Влияние напряженного состояния горных пород.
9. Усредненные уравнения механики гранулярной пористой среды.
10. Линеаризованные уравнения и упругие волны.

#### **5.4. Вопросы к экзамену**

1. Затухание звука в гранулярной пористой среде.
2. Связь параметров упругих волн с характеристиками среды: пористостью, сцементированностью зерен, характером флюида порозаполнителя.
3. Основы теории рассеяния упругих волн на изолированных неоднородностях.
4. Формирование средней скорости звука и релаксационное затухание. Дисперсия скорости.
5. Распространение упругих волн в трещиноватых средах.
6. Распространение упругих волн в кавернозных средах. Влияние флюида порозаполнителя.
7. Уравнение акустики в цилиндрических координатах. Граничные условия.
8. Скважина как волновод.
9. Нормальные моды в волноводе с жесткими стенками.
10. Геометрическая дисперсия.
11. Распространение импульса.
12. Волны в реальной скважине. Типы волн.
13. Рефракция.
14. Акустический каротаж по скорости
15. Акустический каротаж по затуханию
16. Аппаратура для производства работ ВСП.
17. Технология проведения работ ВСП.
18. Проблемы приема колебаний в скважине. Механический резонанс приборов в скважине.
19. Ориентировка прибора в скважине и определение направления подхода волны к скважинному прибору.
20. Поля амплитуд давлений и скоростей от точечного источника в скважине и околоскважинной среде как прямая задача скважинной геоакустики. Методы ее решения.
21. Результаты решения прямой задачи.
22. Параметры волн различного типа и дисперсионные кривые.
23. Препроцессинг материалов ВСП. Источники ошибок измерений.
24. Алгоритмы и программы обработки данных ВСП.
25. Обработка данных в методике ВСП-ОГТ.
26. Построение геологических границ по данным скважинной сейсморазведки.
27. Построение скоростной модели среды.
28. Привязка данных ГИС к временным разрезам ОГТ.
29. Моделирование данных ВСП. С
30. Согласование форм сигнала наземной и скважинной сейсморазведки.
31. Использование данных ВСП при решении геологических задач сейсморазведкой 3Д.
32. Перспективы развития методов скважинной геоакустики.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

## ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства специализация №1 «Физические процессы горного производства»

(код, направление, профиль)

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Шифр дисциплины по РУП	<b>Б1.Б.40.5</b>		
Дисциплина	<b>Сейсмические методы исследования массивов горных пород</b>		
Курс	<b>5</b>	семестр	<b>9</b>
Кафедра	<b>горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>		
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность	<b>Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент</b>		
<b>кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>			
Общ. трудоемкость <sub>час/ЗЕТ</sub>	<b>216/6</b>	Кол-во семестров	<b>2</b>
СРС <sub>общ./тек. сем.м.</sub>			<b>116/40</b>
ЛК <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>32/16</b>	ПР/СМ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>32/16</b>
ЛБ <sub>общ./тек. сем.</sub>	<b>-/-</b>	Форма контроля	<b>Зачет</b>

#### Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

- владением методами рационального и комплексного освоения георесурсного потенциала недр, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов; владением навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ПК-1);
- готовностью демонстрировать умения использовать технические средства для оценки свойств горных пород и состояния массива, а также их влияния на параметры процессов добычи, переработки минерального сырья, строительства и эксплуатации подземных сооружений (ПК-18);
- способностью осуществлять экспертизу технических и технологических проектных решений при добыче, переработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений и обосновывать внесение в них необходимых изменений (ПСК-1.5).

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<b>Вводный блок</b>				
Не предусмотрен				
<b>Основной блок</b>				
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Практическая работа	5	50	В течение семестра
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Реферат	1	10	В течение семестра
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Зачет		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивая в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Шифр дисциплины по РУП		<b>Б1.Б.40.5</b>					
Дисциплина		<b>Сейсмические методы исследования массивов горных пород</b>					
Курс	<b>5</b>	семестр	<b>А</b>				
Кафедра		<b>горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>					
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность		<b>Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент</b>					
		<b>кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства</b>					
Общ. трудоемкость	час/ЗЕТ	<b>216/6</b>	Кол-во семестров	<b>2</b>	СРС	общ./тек. сем.м.	<b>116/76</b>
ЛК	общ./тек. сем.	<b>32/16</b>	ПР/СМ	общ./тек. сем.	<b>32/16</b>	ЛБ	общ./тек. сем.
					<b>-/-</b>	Форма контроля	<b>Экзамен</b>

### Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• владением методами рационального и комплексного освоения георесурсного потенциала недр, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов; владением навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ПК-1);</li> <li>• готовностью демонстрировать умения использовать технические средства для оценки свойств горных пород и состояния массива, а также их влияния на параметры процессов добычи, переработки минерального сырья, строительства и эксплуатации подземных сооружений (ПК-18);</li> <li>• способностью осуществлять экспертизу технических и технологических проектных решений при добыче, переработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений и обосновывать внесение в них необходимых изменений (ПСК-1.5).</li> </ul>
--

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<i><b>Вводный блок</b></i>				
Не предусмотрен				
<i><b>Основной блок</b></i>				
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Практическая работа	5		В течение семестра
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Реферат	1		В течение семестра
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Экзамен		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ПК-1, ПК-18, ПСК-1.5	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивая в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.