

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ  
25.00.20 « ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД,  
РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»**

**Введение**

Настоящая программа охватывает следующие основополагающие разделы: геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по наукам о Земле (по проблемам разработки месторождений твердых полезных ископаемых) при участии ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, МГГУ, СПбГГИ(ТУ), ИПКОН РАН, МГОУ, ТулГУ и ИГД СО РАН.

**1. Геомеханика**

Основные представления о геомеханике как науке о механических явлениях и процессах в земной коре, вызываемых воздействием горных работ, и ее объекте – массиве горных пород, являющемся частью земной коры.

Понятие о массивах горных пород, их физических состояниях и важнейших физико-механических свойствах, а также о причинах различия свойств массива и образцов горных пород. Масштабный эффект и масштабные уровни. Геологическое и тектоническое строение массивов горных пород. Классификация массивов по прочности, слоистости, трещиноватости и склонности к разрушению. Методы изучения и прогнозирования состава, строения, состояния и свойств горных массивов.

Деформируемость, прочность и разрушение горных пород и массивов. Механические модели пород: упругие, жесткопластические, упругопластические, реологические. Теории прочности и критерии разрушения пород. Полные диаграммы прочности. Деформационные, прочностные и реологические характеристики горных пород, их физический смысл и размерность. Паспорт прочности горных пород, методы и технические средства его построения. Методы и средства испытаний пород в лабораторных и натурных условиях.

Начальные гравитационные и тектонические поля напряжений в массивах горных пород, их связь с геодинамическим полем напряжений. Характер напряженно – деформированного состояния массива при таких полях, оценка компонентов тензора напряжений в его заданных точках. Геомеханические процессы, происходящие в геологической среде под влиянием горных работ и управление ими при подземных и открытых работах, а также подземном и гражданском строительстве. Методы и средства исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Маркшейдерские прямые и косвенные методы.

Особенности деформирования и разрушения горных пород и массивов в условиях трехмерного напряженно-деформированного состояния, включая область запредельного деформирования. Процессы разупрочнения и предразру-

шения горных пород при добыче полезных ископаемых. Управление тяжелыми кровлями угольных месторождений. Особенности деформирования и разрушения породных массивов вблизи забоя, устья и сопряжений выработок. Деформирование и разрушение кровли, почвы и породных целиков очистных выработок. Зоны опорного давления в окрестности выработок. Физическая природа концентрации напряжений в зонах опорного давления и характер распределения напряжений в зависимости от ряда определяющих природных и производственных факторов.

Сдвигение породных массивов под влиянием подземных и открытых горных работ. Связь сдвигения горных пород и газовыделения в горные выработки и на поверхность. Определение параметров сдвигения породных массивов и земной поверхности. Защита зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок.

Динамические проявления геомеханических процессов в виде горных ударов и внезапных выбросов; их прогноз и предупреждение. Основные признаки удароопасности пород. Механизм внезапных выбросов. Геодинамическое районирование. Раскройка шахтных полей в условиях блочного строения массива, рациональное расположение выработок в активных геодинамических зонах. Методы и средства (включая геофизические) изучения и контроля геомеханических процессов в массиве.

Устойчивость горных выработок и подземных сооружений. Взаимодействие массива горных пород с инженерными конструкциями подземных сооружений. Основные положения механики подземных сооружений. Крепи горных выработок и их роль в управлении напряженно-деформированным состоянием массива. Капитальные, подготовительные и очистные выработки. Требования к выбору типа и параметров крепи. Геомониторинг при строительстве подземных сооружений. Обработка и интерпретация результатов измерений. Обратный анализ. Оценка устойчивости породных откосов и бортов карьеров. Основные факторы, определяющие их устойчивость. Горнотехнические и специальные способы управления состоянием бортов карьеров.

Понятие о сейсмических волнах, их параметры и воздействие сейсмических сигналов на строящиеся и эксплуатируемые подземные сооружения. Принципы и приемы геомеханического воздействия на массив для повышения интенсивности и продолжительности нефте- и газоотдачи скважин. Методы контроля. Связь между геомеханическими и геодинамическими процессами.

Методы исследований геомеханических процессов в лабораторных и натуральных условиях. Предметное и аналоговое моделирование. Критерии подобия. Методы: эквивалентных материалов, фотоупругости, центробежного моделирования.

Снижение напора подземных вод в водоносных породах и их осушение. Влияние подземных вод на устойчивость горных выработок и откосов горных пород. Горно-строительный дренаж. Осадка толщ горных пород в результате глубокого водопонижения.

## 2. Разрушение горных пород

*Разрушение горных пород взрывом.* Особенности применения взрыва при открытом и подземном способе разработки месторождения. Классификация взрывчатых веществ (ВВ), средств взрывания и области их эффективного применения. Влияние структуры и диаметра заряда на параметры детонации. Методы определения работоспособности и расчета детонационных параметров ВВ. Бризантные и фугасные свойства непридохранительных и предохранительных ВВ. Объемная концентрация энергии заряда ВВ, способы и средства ее регулирования. Системы электрического и неэлектрического инициирования зарядов ВВ.

Современные представления о разрушении твердых сред при взрывных нагрузках, физические и механические модели разрушения горных пород взрывом. Основы моделирования действия взрыва в горных породах. Расчет параметров волн напряжений в осесимметричной постановке. Роль газообразных продуктов взрыва при разрушении горных пород. Распространение волн напряжений в трещиноватых средах и влияние соударений отдельностей на результативность взрыва. Методы анализа законов распределения кусковатости взорванной горной массы, определение размеров среднего куска и показателя равномерности дробления. Методы управления энергией взрыва при выполнении различных видов работы (выброс, перемещение, дробление) в условиях горного предприятия. Конструкция заряда и механизм воздействия ее на разрушаемый горный массив. Методы расчета параметров БВР при взрыве системы скважинных зарядов. Особенности действия взрыва зарядов ВВ в зажатой среде. Оценка результатов взрыва и основные технико-экономические критерии эффективности.

Закономерности формирования и распространения сейсмических волн и ударной воздушной волны при массовых взрывах. Основные экологические проблемы и методы их решения при ведении взрывных работ.

*Разрушение пород при бурении шпуров и скважин и комбинированной проходке выработок.* Способы бурения и расширения шпуров и скважин. Вращательное, ударно-вращательное, шарошечное, термическое, электротермическое, электрофизическое, гидравлическое, гидромеханическое и другие комбинированные способы бурения. Влияние основных физико-механических свойств горных пород на показатели бурения и расширения шпуров и скважин, энергоемкость разрушения. Интенсификация и оптимизация процессов бурения и расширения, техника и технология бурения и расширения шпуров и скважин.

*Разрушение негабаритов:* Способы, техника и технология взрывного, механического, термического, электротермического, электрофизического разрушения. Механизм разрушения и расчет параметров разрушения каждым из указанных способов.

*Разрушение горных пород и углей при выемке полезного ископаемого комбайнами и стругами.* Особенности процесса разрушения угля и горных пород

инструментами (резцами и шарошками). Методы и способы экспериментальных исследований процесса разрушения комбайнами и стругами.

Свойства горных пород, влияющих на процессы механического разрушения углей и угольных пластов. Типизация угольных пластов по разрушаемости.

Физические особенности разрушения горных пород и углей резцовым инструментом, дисковыми и штыревыми шарошками, комбинированным инструментом. Схемы резания и выбор их оптимальных параметров.

Влияние параметров породоразрушающих инструментов, режима и схем разрушения на силовые и энергетические показатели процессов механического разрушения горных пород и углей.

*Разрушение горных пород электрофизическими способами.*

Электрическое поле в несовершенном диэлектрике. Диэлектрические характеристики горных пород. Система уравнений электромагнитного поля. Поведение пород в магнитном поле. Магнитная постоянная. Потери энергии в породе в переменном магнитном поле. Формирование полей термических напряжений. Физические процессы в породе при электрофизическом ее разрушении в высокочастотных электрических полях. Механизмы разрушения пород электромагнитной волной: термический и за счет фазовых переходов содержащихся в породе влаги или минералов.

Технологические схемы разрушения пород электрофизическими способами: разрушение скальных отдельностей (характер разрушения, типы пород, энергоемкость); разрушение массива методом электрофизического отрыва; разрушение массива СВЧ волнами (типы пород, энергозатраты).

*Гидравлическое разрушение горных пород тонкими струями воды высокого давления.* Тонкие струи воды высокого давления их структура и гидродинамические параметры. Методы расчета динамических и структурных характеристик высокоскоростных струй воды. Разрушение угля одиночными тонкими струями. Взаимодействие струи и горного массива. Методы расчета параметров резания угля и горных пород тонкими струями воды высокого давления.

Разрушение угля одновременно несколькими взаимодействующими тонкими струями. Закономерности разрушения угля тонкими струями воды при помощи многоструйных погружных резаков.

*Разрушение горных пород и твердых материалов гидроабразивными струями.* Сущность способа. Факторы, определяющие эффективность процесса разрушения горных пород и других материалов гидроабразивными струями воды.

*Гидромеханическое разрушение угля и горных пород.* Сущность способа и основные положения гидромеханического способа разрушения угольного и породного массива применительно к использованию в очистных и проходческих комбайнах. Основные факторы, определяющих процесс гидромеханического разрушения и критерии оценки их эффективности. Закономерности гидромеханического разрушения угля и горных пород. Физические особенности процесса комбинированного разрушения угля и горных пород высокоскоростной струей воды и различными типами механического инструмента. Методы расчета рациональных параметров и режимов гидромеханического разрушения угля и горных пород.

*Дробление горной массы:* типы дробилок, область их применения, механизм разрушения, параметры дробления и его энергоемкость.

*Измельчение горной массы:* типы мельниц, условия их применения, механизмы измельчения, энергозатраты и способы их снижения, влияние различных факторов на параметры измельчения, управление режимами и параметрами измельчения в мельницах и их расчет.

### 3. Рудничная аэрогазодинамика

*Рудничная газодинамика шахт и рудников.* Рудничная атмосфера: физические и химические свойства газов. Понятие динамически активных и пассивных газов в рудничной атмосфере. Температурно-влажностный режим шахт (рудников) и факторы его определяющие.

Основные законы аэростатики и аэродинамики применительно к рудничной атмосфере. Газоносность угольных пластов, горных пород, горных выработок и шахт. Виды выделения метана в шахтах. Прогноз газовыделения в горные выработки. Управление газовыделением. Способы дегазации и их эффективность. Тепловой баланс шахт и кондиционирование шахтного воздуха.

Шахтная пыль. Горючие и взрывчатые свойства угольной и сланцевой пыли. Особенности взрывов угольной пыли в шахтах.

Режимы движения воздуха в шахтах (рудниках). Природа турбулентности. Основные характеристики турбулентности в шахтных вентиляционных потоках. Фильтрационные течения. Критическое число Рейнольдса.

Природа аэродинамических сопротивлений элементов шахтной вентиляционной сети: сопротивление трения, местные и лобовые сопротивления. Закон сопротивления горных выработок, выработанных пространств.

Диффузия газов в горных шахтных вентиляционных потоках. Уравнение конвективной диффузии. Граничные условия в задачах переноса газообразных примесей шахтными вентиляционными потоками. Соотношение сил в фильтрационных потоках утечек. Коэффициент турбулентной диффузии.

Стратифицированные потоки. Слоевые скопления газов и механизм их формирования. Число Ричардсона.

Статика и динамика рудничных вентиляционных систем. Газодинамические процессы в шахтах (рудниках) и их характеристики. Переходные газодинамические процессы в шахтных вентиляционных системах. Основные закономерности аэрогазодинамики тупиковых выработок и камер, выемочных участков, выработанных пространств. Моделирование аэрогазодинамических процессов в шахтах. Критерии подобия при моделировании. Числа Архимеда, Нуссельта, Пекле, Прандтля, Стентона, Струхаля, Фруда, Шмидта, Эйлера.

*Аэрология карьеров.* Состав атмосферы карьеров и предъявляемые к нему требования. Вредные примеси атмосферного воздуха, их свойства, предельно допустимые концентрации. Источники загрязнения атмосферы карьеров пылью и газами, их виды. Источники ионизирующего излучения. Методы и средства контроля состояния атмосферы.

Микроклимат карьеров и его влияние на воздухообмен. Основные элементы микроклимата карьеров. Температурная стратификация атмосферы в карьерах. Возникновение воздушных потоков в результате неравномерного распределения тепла по бортам карьера.

Основы аэромеханики и газовой динамики. Физические свойства воздуха. Основные законы аэродинамики. Элементы теории пограничного слоя. Распространение газа, выделяемого точечным и линейным источниками. Основные характеристики газовых факелов. Распространение вредных газов и пыли при взрывных работах. Характеристики пылегазового облака.

Проветривание карьеров за счет энергии ветра. Конвективная схема проветривания (условия возникновения, схемы движения воздуха, скорость и режим движения воздуха, вынос вредностей из карьера). Инверсионная схема движения воздуха (условия возникновения, схемы движения воздуха, Скорость накопления вредностей в карьерном пространстве). Комбинированные схемы проветривания.

Интенсификация естественного воздухообмена. Способы и средства искусственной вентиляции. Способы и средства нормализации атмосферы карьеров. Создание комфортных условий в кабинах горных и транспортных машин. Пылеулавливание. Нейтрализация вредных газов. Снижение запыленности воздуха при массовых взрывах. Основы проектирования вентиляции карьеров.

#### 4. Горная теплофизика

*Основы термодинамики горных пород.* Термодинамические системы. Термодинамические процессы. Энтальпия и энтропия термодинамических процессов. Термодинамическая вероятность. Фазовые переходы в горных породах. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса. Тепловые свойства твердых тел. Изменение свойств горных пород и минералов в зависимости от температуры.

*Тепломассоперенос.* Уравнение первого закона термодинамики для потока. Сопло Ловаля. Температура адиабатного торможения потока. Основной закон теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Критерии подобия в термодинамике. Виды теплоносителей и теплообмена. Пограничный слой и механизм конвективного теплообмена. Определение термодинамических параметров теплоносителей. Методы расчета параметров нагрева твердых тел.

*Тепло земных недр.* Термодинамические параметры земной коры. Источники тепла земных недр. Теплоперенос в недрах Земли. Использование тепла земных недр.

*Теплообмен в горных выработках.* Требования к тепловому режиму в подземных выработках. Каналы теплообмена человека. Источники тепла в горных выработках. Методы нормализации температурного режима рудничного воздуха.

*Промерзание связных пород на открытых разработках.* Уравнение колебаний температуры внешней среды. Расчет глубины промерзания. Расчет тол-

щины и свойств теплоизоляционных покрытий с целью полного или частичного предотвращения промерзания пород. Технология получения теплоизоляционных покрытий.

*Оттаивание связанных пород на открытых разработках.* Оттаивание прямым нагревом. СВЧ - методы оттаивания (механизм, техника, технология, область применения). Гидрооттаивание (механизм, параметры, техника и технология, область применения).

*Замораживание пород при строительстве подземных сооружений.* Тепло-массоперенос в горных породах при замораживании. Термодиффузия влаги при замораживании пород. Расчет параметров замораживания пород вокруг одиночной скважины. Расчет параметров замораживания при формировании ледопородных ограждений.

*Термическое разрушение горных пород.* Разрушение плавлением. Хрупкое термическое разрушение (ХТР). Поле температур и напряжений при ХТР. Механизм и параметры ХТР. Термическое бурение шпуров и скважин, термическое расширение скважин (техника, технология, режимы и параметры, область применения).

*Скважинные геотехнологии добычи полезных ископаемых на основе теплофизики.* Подземная выплавка серы (условия применения, тепловой баланс, расчет параметров, техника и технология).

Подземная газификация твердого топлива (частичная и полная газификация угля, механизм газификации, канал газификации, его формирование и пространственно временные параметры, техника и технология подземной газификации угля).

*Термические процессы при подготовке рудного сырья к металлургическому переделу.* Обжиг окатышей и брикетов, агломерация руд (механизм спекания, восстановительные и окислительные процессы, расчет параметров нагрева с учетом фазовых переходов и тепловых эффектов, техника и технология).

*Сушка горной массы.* Поверхностная и полная сушка (тепловой баланс, тепло- и массообмен, техника и технология, область применения).

## Литература к разделу 1

1. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов.-М.: Недра, 1992.
2. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей.- М.: Недра, 1992.
3. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М., Недра, 1989, 360 с.
4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. Учеб. для Вузов, - 2-е изд., М., Недра, 1994, 270 с.
5. Горные науки. Освоение и сохранение недр земли. Под ред. академика РАН К.Н. Трубецкого.-М.: Изд-во АГН, 1997.478с.

6. Курленя М.В., Опарин В.Н. Скважинные геофизические методы диагностики и контроля напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. Новосибирск, Наука, 1999, 335 с.
7. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М., Изд-во АГН, 2000, 519 с.
8. Методы и средства контроля состояния и свойств горных пород в массиве / Е.С. Ватолин, А.Б. Черняков, А.Д. Рубан, А.М. Потапов /, М., Недра, 1989, 179 с.
9. Проскуряков Н.М. Управление состоянием массива горных пород. Учебник для Вузов. –М., Недра, 1991, 368с.
10. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В. М. Основы геомеханики. М., Недра, 1986.-302 с.
11. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. М., Недра, 1992.
12. Управление горным давлением / А.А. Борисов, Ф.Н. Воскобоев, В.И. Матанцев и др. / М., Недра, 1983.

### Литература к разделу 2

1. Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Термическое разрушение горных пород. М., Недра, 1990,- 256 с.
2. Комбинированные способы и устройства разрушения горных пород. /В.Г. Мерзляков, И.А. Кузьмич, Ю.Н. Захаров, Г.И. Кузнецов/ -М.: Недра, 1995.
3. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. М., Изд-во МГГУ, 1994, 446 с.
4. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М., Недра, 1976, 272 с.
5. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. - М.: Недра, 1984.- 283 с.
6. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. М. Изд-во МГГУ, 1995,453 с.
7. Разрушение взрывом и необратимые деформации горных пород. Под ред. Е. И. Шемякина, ННЦГП - ИГД им. А. А. Скочинского, М., 1997, 177 с.
8. Ржевский В.В., Протасов Ю.И. Электрическое разрушение горных пород. М., Недра, 1972, - 206 с.
9. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В. М. Основы геомеханики. М., Недра, 1986.-302 с.
10. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д. Современные проблемы разрушения массивов горных пород. - М.: ИПКОН РАН, 1998, 28 с.
11. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбивании горных пород взрывом. М.: Недра, 1974. - 222 с.
12. Физика взрыва. / Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. / М., Наука, 1975, 704 с.



### Литература к разделу 3

1. Битколов Н.З., Медведев И.И. Аэрология карьеров. Учебник для ВУЗов. - М.: Недра, 1992.-272 с.
2. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. /М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин, Е.П. Плоскоголовый, Н. Сургай - М.: Недра, 1992.
3. Джигрин А.В., Кушняров П.И. Руководство по ведению взрывных работ на угольных шахтах России. М.: ИПКОН, 1996.- 211 с.
4. Клебанов Ф.С. Воздух в шахте: Трактат о проветривании угольных шахт. -М., 1995. -574 с.
5. Пучков Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств. - М.: Изд-во МГГУ, 1993.-267с.
6. Рогалев В.А. Нормализация атмосферы горнорудных предприятий. М., Недра, 1993.
7. Способы заблаговременного снижения пылеобразования угольных пластов. / А.Е. Пережилов, Е.Я. Диколенко, В.С. Харьковский, В.А. Диколенко - М.: Недра, 1995
8. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий. : Спр. -М.: Недра,1991.-256с.
9. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. - М.: Недра, 1987 г.

### Литература к разделу 4

1. Бобров А.И., Аверин Г.В. Теоретические основы переноса импульса, тепла и примеси в горных выработках. - Макеевка-Донбасс: Изд-во МакНИИ,-1994.-270с.
2. Дмитриев А.П., Гончаров С.А. Термодинамические процессы в горных породах. Учебник, М.,Недра,1991.
3. Дядькин Ю.Д., Гендлер С.Г., Смирнова Н.Н. Геотермальная теплофизика. СПб., Наука. 1993.
4. Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В. и др. Теплофизические аспекты освоения ресурсов недр. Л., Недра, 1988.
5. Лыков А.В. Теплообмен. М.: Энергия, 1972 г.
6. Насонов И.Д., Щуплик М.Н. Закономерности формирования ледопородных ограждений при строительстве стволов шахт способом замораживания., М., Недра, 1976.
7. Шувалов Ю.В., Кравченко В.Н. Тепловой режим глубоких рудников. М., Недра, 1993.