

Министерство образования и науки Республики Татарстан  
Государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Альметьевский государственный нефтяной институт»



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. ректора АГНИ

А.Ф. Иванов

«22» июля 2020г.

## ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

**Направление подготовки:** 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых»

**Направленность (профиль) программы:** «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

**Кафедра, обеспечивающая преподавание дисциплины:** «Транспорт и хранение нефти и газа»

Рассмотрена и утверждена  
на заседании Учёного совета АГНИ  
Протокол заседания № 6  
от «22» 07 2020г.

Альметьевск 2020

Программу кандидатского экзамена разработал (и):

Профессор кафедры ТХНГ  
профессор, д.т.н.


  
\_\_\_\_\_ М.М. Алиев

Доцент кафедры ТХНГ  
доцент, к.т.н.

  
\_\_\_\_\_ З.Ф. Исмагилова

Программа кандидатского экзамена рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», обеспечивающей преподавание дисциплины, « 19 » 06 20 20 г. протокол № 10 .

Зав. выпускающей кафедрой  
«Транспорт и хранение  
нефти и газа»

  
\_\_\_\_\_ М.М. Алиев

**Тематика вопросов для кандидатского экзамена по дисциплине  
« Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и  
горная теплофизика»**

**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 предразрушения 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 непередохранительных 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 струёй 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. Слойные 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 толщины и свойств теплоизоляционных покрытий с целью полного или частичного предотвращения промерзания пород. Технология получения теплоизоляционных покрытий.

*Оттаивание связных 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.* Тепломассоперенос 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).

### Основная литература:

1. Кириченко, Ю. В. Геомеханика. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. В. Кириченко, В. В. Ческидов, С. А. Пуневский. — Электрон. текстовые данные. — М.: Издательский Дом МИСиС, 2017. — 90 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71670.html>– ЭБС «IPRbooks.»
2. Певзнер М.Е. Геомеханика [Электронный ресурс]: учебник/ Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008.— 437 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6697>. – ЭБС «IPRbooks.»
3. Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы [Электронный ресурс]: учебник/ И.В. Баклашов [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004.— 259 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6642>.– ЭБС «IPRbooks».
4. Савенок, О. В. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин: монография / О. В. Савенок, Ю. Д. Качмар, Р. С. Яремийчук. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. — 548 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/86606.html>– ЭБС «IPRbooks.»
5. Вержбицкий, В. В. Охрана окружающей среды в нефтегазовом деле: учебное пособие / В. В. Вержбицкий, И. И. Андрианов, М. Д. Полтавская. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. – 97 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63122.html> – ЭБС «IPRbooks».
6. Воробьева Л.В. Основы нефтегазового дела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Воробьева Л.В. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский политехнический университет, 2017. – 202 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/84027.html> – ЭБС «IPRbooks».
7. Каратаев, О. Р. Основы проектирования: учебное пособие / О. Р. Каратаев, Д. А. Хамидуллина. — Казань: Казанский национальный

- исследовательский технологический университет, 2016. — 124 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62525.html> – ЭБС «IPRbooks».
8. Крец, В. Г. Основы нефтегазового дела: учебное пособие / В. Г. Крец, А. В. Шадрина. – 2-е изд. – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – 200 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/83977.html> – ЭБС «IPRbooks».
  9. Подавалов Ю.А. Экология нефтегазового производства [Электронный ресурс]: монография/ Подавалов Ю.А. Монография – Электрон. текстовые данные. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 416 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13565>. – ЭБС «IPRbooks».
  10. Пономарева, Г. А. Углеводороды нефти и газа. Физико-химические свойства: учебное пособие / Г. А. Пономарева. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 99 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61419.html> – ЭБС «IPRbooks».
  11. Алиев, М. М. Нефтегазовая геомеханика : учебное пособие / М. М. Алиев, А. А. Лутфуллин, З. Ф. Исмагилова. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 160 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/98430.html>. – ЭБС «IPRbooks».



Приложение 1

**Пример оформления дополнительной программы**

Министерство образования и науки Республики Татарстан  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Альметьевский государственный нефтяной институт»

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. ректора АГНИ  
\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена по специальной дисциплине**

по направлению подготовки 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых»

научная специальность 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

аспиранта/экстерна кафедры «ТХНГ»

***Фамилия Имя Отчество***

20 \_\_\_\_

Программа разработана на основе учебной и научной литературы по теме

«-----»

---

(указывается тематика, область исследования, тема НКР/диссертации)

Программу разработал  
Аспирант/экстерн кафедры «ТХНГ»

Фамилия И.О.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «ТХНГ»  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 20\_\_ г.

Зав.кафедрой «ТХНГ»

Фамилия И.О.

*Разделы соответствующие научной тематике, области исследования,  
теме НКР/диссертации*

- 1. ....
- 1.1.....
- 1.2 .....
- 1.3.....
- 2. ....
- 2.1.....
- 2.2.....
- 2.3.....
- 3.....
- 3.1.....
- 4. ....
- 4.1.....

**Основная литература**

- 1. ....
- 2. ....
- 3. ....
- 4. ....
- 5. ....
- 7. ....
- 9. ....
- 10. ....