

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра ”Физических процессов горного производства “

**К. Т. Тажибаев, Д. К. Тажибаев,
М. С. Акматалиева**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
«ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД»**

Бишкек – 2014

УДК 662.74:552

Рецензент докт. техн. наук, проф. *М. М. Шамсутдинов*

Рекомендовано к изданию

кафедрой «Физических процессов горного производства» и РИСО КРСУ

Тажибаев К. Т., Тажибаев Д. К., Акматалиева М. С.

**ПК-16 ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К
КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ.** – Бишкек: Издательство КРСУ,
2014. – 32 с.

Изложены теоретические, методические положения определения прочностных характеристик горных пород, устойчивости борта карьера и задания для составления курсового проекта по теме: « Учет анизотропности прочностных характеристик горных пород при определении коэффициента запаса устойчивости обнажений горных выработок»

Для студентов специальности 070600 «Физические процессы горного производства» при изучении курса «Физика горных пород»

Издание печатается в авторской редакции

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД	5
1.1. Метод определения прочности горных пород при одноосном сжатии.....	5
1.2. Методы определения прочности горных пород при одноосном растяжении	6
1.3. Паспорт прочности. Сцепление и угол внутреннего трения	8
2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД	11
2.1. Теоретические расчеты напряженного состояния породного массива	11
2.2. Методы определения напряжений	12
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА	21
3.1. Анизотропность механических свойств горных пород.....	21
3.2. Учет анизотропности прочностных характеристик при определении устойчивости борта карьера.....	23
4. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ	27
4.1. Организация выполнения курсового проекта	27
4.2. Исходные данные и задание на курсовое проектирование	28
4.3. Требования к оформлению курсового проекта.....	29
ЛИТЕРАТУРА	31

ВВЕДЕНИЕ

Для определения устойчивости бортов карьеров, а также обнажений подземных горных выработок необходимы знания о напряженно-деформированном состоянии обнажений горных выработок и прочностных свойствах слагающих горных пород. Горные породы месторождений часто представлены различными сланцами, филлитами, которые имеют слоистую структуру. Слоистая структура предопределяет прочностные характеристики горных пород как анизотропные, так как показатели прочности изменяются в зависимости от направления слоистости по отношению к действующей силе.

Одним из весомых факторов, оказавшим влияние на механизм обрушений бортов карьеров, является слоистость вскрышных горных пород. При определении устойчивости бортов карьера, обнажений подземных горных выработок в неполной мере учитывается анизотропность показателей механических свойств горных пород, имеющих слоистую структуру. В частности, в расчетах не учитывается изменчивость механических свойств слоистых горных пород из-за изменений направления слоистости по отношению к направлению приложенной силы. В связи с этим исследование по обоснованию устойчивости бортов карьера, обнажений подземных горных выработок с учетом анизотропности (изменчивости) механических свойств горных пород представляет собой актуальную задачу. Цель данной работы обучить студентов основным теоретическим положениям о физико-механических свойствах горных пород и о физических процессах, происходящих в них, напряженном состоянии породного массива, и привить навыки применения полученных знаний для решения инженерных задач горного производства.

В работе приведены описания методов определения прочностных свойств горных пород, а также методы определения напряжений в горных породах, методические положения по определению коэффициента устойчивости обнажений горных выработок с учетом слоистости пород.

1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

1.1. Метод определения прочности горных пород при одноосном сжатии

Свойство материала воспринимать, не разрушаясь, в определенных условиях, те или иные нагрузки характеризуется прочностью. Основными показателями прочности являются показатели предельного сопротивления одноосному сжатию $\sigma_{сж}$, растяжению σ_p , срезу τ_m , а также показатели сопротивления сдвигу – угол внутреннего трения ϕ , сила сцепления C . Показатель прочности при одноосном сжатии является наиболее широко применяемой характеристикой механических свойств и часто используется как сравнительный показатель крепости горных пород при решении ряда инженерных задач.

Под прочностью при одноосном сжатии обычно понимается постоянная характеристика. Однако опытами установлено, что прочность зависит от ряда факторов: от размеров испытуемого образца, от отношения его высоты к диаметру (к поперечному размеру), от скорости нагружения, от жесткости давящей установки и т.д. Поэтому важно обеспечить постоянство условий испытания. Только при испытаниях в одинаковых условиях можно получить сопоставимые результаты для разных горных пород, т.е. необходимо строго выполнять требования ГОСТа, регламентирующие условия проведения опыта.

Для изучаемых горных пород прочность при одноосном сжатии необходимо определять стандартным методом (например, ГОСТ 21153.2-84) – по результатам испытания цилиндрических образцов с диаметром 42 мм, высотой 84 мм. Испытание образца при этом осуществлялось встречным давлением на его плоские торцы, создаваемым при помощи стальных плит гидравлического пресса (например, ЦДМ-100) в постоянных условиях соответствующих требованиям стандарта.

Форма испытуемых образцов и качество их торцевых поверхностей отвечают следующим требованиям: разность диаметров поперечного сечения

не более 1,0 мм; торцевые поверхности параллельны друг другу и перпендикулярны к боковой поверхности; стрелка кривизны после шлифования торцевой поверхности (не параллельность торцевых поверхностей) не более $\pm 0,05$ мм. Скорость нагружения образцов при испытании в соответствии с требованием ГОСТа в пределах $0,1-0,5$ МПа·с⁻¹ и поддерживается постоянной вплоть до разрушения образца.

Предел прочности горной породы при одноосном сжатии для каждого испытуемого образца, определялся по формуле:

$$\sigma_{\text{пре}} = \frac{P_{\text{max}}}{S} \quad (1),$$

где P_{max} – максимальное разрушающее усилие, зафиксированное на силоизмерителе пресса при одноосном сжатии, кГ;

S – площадь поперечного сечения образца, см².

Для расчетов как характеристика горной породы принимается среднеарифметическое значение прочности при одноосном сжатии из не менее пяти результатов испытания образцов данной породы.

1.2. Методы определения прочности горных пород при одноосном растяжении

В настоящее время для определения прочности образцов при одноосном растяжении применяется большое число методов, прямых и косвенных [6]:

- непосредственный разрыв образцов различных форм и размеров
- центральный изгиб кольцевым штампом круглых пластинок
- разрушение полых образцов давлением изнутри
- разрушение цилиндрических образцов силами, сосредоточенными по диаметрально противоположным образующим (Бразильский метод)
- разрушение образцов – плит и дисков – соосно расположенными клиньями.

Метод прямого определения – это непосредственный разрыв образцов при одноосном растяжении. Однако этот метод трудоёмок как на стадии непосредственной подготовки к испытаниям (скрепление образцов с захватами), так и на стадии изготовления цилиндрических образцов, длина которых должна составлять от 2,5 до 3 диаметров. На практике последнее условие зачастую невозможно выполнить из-за ограниченности размеров породных проб или их трещиноватости.

Среди косвенных методов определения предела прочности горных пород при растяжении в отечественной лабораторной практике и за рубежом наиболее широко применяются методы раскалывания цилиндрических образцов линейно распределенными по образующим нагрузками (Бразильский метод).

Сущность метода, заключается в определении максимальной разрушающей силы, приложенной перпендикулярно к образующей цилиндрического образца породы, в результате чего в образце возникают растягивающие напряжения, приводящие к его разрушению в плоскости продольного сечения. Нагружение при раздавливании образцов производится по образующей образца между плоскими шлифованными стальными плитами испытательной машины (пресса). Скорость выбирается в зависимости от прочности породы в пределах 0,1-0,3 МПа/с и поддерживается постоянной до разрушения образца. После разрушения образца фиксируется нагрузка, соответствующая разрушению; штангенциркулем производится замер поверхности разрушения в двух направлениях; по образующей l и диаметру d . Затем предел прочности при растяжении σ_p определяется по известной формуле:

$$\sigma_{\delta} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{d \cdot l} = 0,637 \frac{F}{S} \quad (2),$$

где F – максимальное разрушающее усилие при раскалывании;

S – площадь поверхности раскола, см^2

Для расчетов как характеристика горной породы принимается среднеарифметическое значение прочности при одноосном сжатии из не менее пяти результатов испытания образцов данной породы.

1.3. Паспорт прочности. Сцепление и угол внутреннего трения

В настоящее время известно множество гипотез прочности материалов. Однако до сих пор не удалось создать универсальную теорию прочности материалов. Специалисты по механике горных пород считают, что из всех известных гипотез и теорий прочности наиболее удовлетворительно описывает поведение горных пород теория Мора.

В теории Мора постулируется, что ответственным за разрушение является касательные напряжения, а само разрушение носит характер сдвига по площадкам, на которых достигается предельное состояние, причем величина предельного касательного напряжения является функцией нормального напряжения, действующего на площадке скольжения. Для характеристики напряженного состояния в точке, Мор предлагает строить круговую диаграмму. Мор дает и графический способ интерпретации результатов опытов, который состоит в следующем. Если для нескольких видов напряженного состояния опытным путем определить величины предельных состояний и изобразить их в виде кругов напряжений на совмещенной диаграмме, то все семейство кругов будет иметь общую огибающую, которая характеризует предельное состояние.

Пользуясь теорией прочности Мора можно определять точки предельного состояния горной породы при различных соотношениях нормальных и касательных напряжений, значения сцепления – C и угла внутреннего трения – φ , сопротивление горных пород сжатию, растяжению, то есть паспорт прочности. Для определения паспорта прочности вначале определяют показатели прочности при одноосном сжатии и растяжении, затем в координатах нормальное σ (абсцисса) и касательное напряжение (ордината) τ строят круги Мора по данным прочности одноосного сжатия и растяжения

(рисунок 1), далее проводят общую касательную линию к двум (сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_p) кругам Мора. Точка пересечения касательной линии с ординатой, то есть с осью T определяет величину силы сцепления данной горной породы C , а угол между касательной линией и горизонталью – угла внутреннего трения Φ .

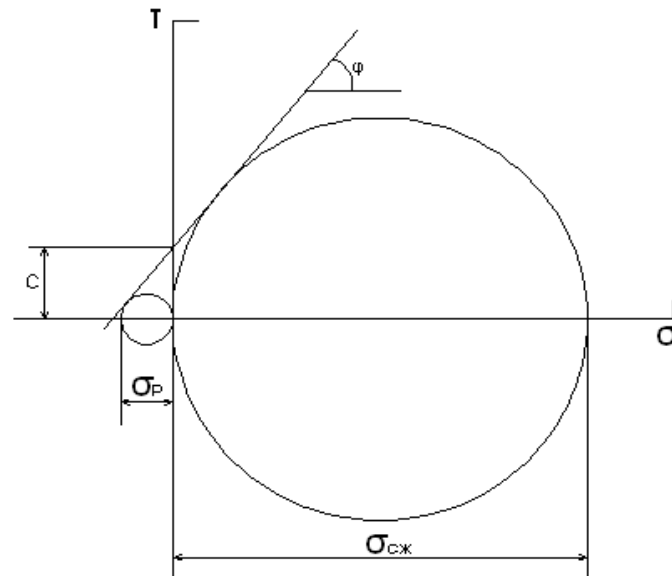


Рисунок 1. Паспорт прочности горной породы: $\sigma_{сж}$ – прочность при одноосном сжатии (1600 кГс/см²), σ_p – прочность при одноосном растяжении (200 кГс/см²), C – сцепление (300 кГс/см²), Φ – угол внутреннего трения (50⁰ градус), σ – нормальное напряжение, T – касательное напряжение.

Для вычисления параметров огибающей кривой при наиболее простом случае используются среднеарифметические величины пределов прочности горных пород при одноосном сжатии и одноосном растяжении, определенные соответственно по ГОСТ 21153.2-84 и ГОСТ 21153.3-75.

Согласно теории Мора разрушение породы при действии сжимающих усилий происходит за счет сдвига по площадке, наклоненной под углом к оси наименьшего главного напряжения. Сдвигаемому (касательному) напряжению – T противостоят сила сцепления – C и сила трения, равная нормальному

напряжению σ , умноженному на коэффициент трения f . Таким образом, в момент предельного равновесия должно соблюдаться равенство:

$$T = C + \sigma f \quad (3)$$

Так как коэффициент внутреннего трения f равен тангенсу угла внутреннего трения, то: $T = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$ (4),

где C – сила сцепления, кГ/см^2 ; φ - угол внутреннего трения.

Согласно теории Мора направление разрушения породы должно происходить под углом $\beta = 45^\circ + \varphi/2$ (5)

Главное достоинство теории Мора состоит в простоте графической интерпретации и возможности определения важных показателей: сцепления и угла внутреннего трения. Коэффициент внутреннего трения $f = \operatorname{tg} \varphi$ характеризует интенсивность, скорость роста срезающих напряжений с возрастанием нормальных напряжений, т.е. представляет собой коэффициент пропорциональности между приращениями касательных и нормальных напряжений при срезе. Сцепление характеризует наличие и прочность структурных связей, т.е. сцепление количественно равно пределу прочности на срез при отсутствии нормальных напряжений. В простейшем случае, когда огибающую кругов напряжений Мора принимают за прямую (касательную к кругам) линию и строят их по данным только прочности на одноосное сжатие и растяжение, сцепление и угол внутреннего трения можно вычислить по формулам:

$$C = \frac{\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_{c\alpha}}}{2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sigma_{c\alpha} - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_{\tilde{n}\alpha}}} \quad (6)$$

Показатели сцепления и угла внутреннего трения можно определить по вышеуказанным формулам и графически (рисунок 1).

2. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1 Теоретические расчеты напряженного состояния породного массива

Предполагается, что горные породы под действием веса вышележащих толщ находятся в напряженном состоянии, и чем больше глубина залегания пород, тем больше в них напряжения. В нетронутом массиве горных пород имеются естественные начальные напряжения, которые после проведения горных выработок перераспределяясь, изменяются существенно. В процессе релаксации напряжений напряженное состояние изменяется также во времени. Согласно гипотезе А.Гейма [5] на больших глубинах в условиях нетронутого состояния в горных породах напряжения распределяются гидростатически, то есть по всем направлениям равны:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H \quad (7),$$

где σ_x , σ_y – нормальные взаимоперпендикулярные горизонтальные напряжения;

σ_z – нормальное вертикальное напряжение; γ – средний объемный вес пород вышележащей толщи; H – глубина залегания рассматриваемой породы.

Вначале 20-столетия А.Н. Динник [1] решая задачу напряженно-деформированного состояния горных пород в постановке упругой деформации установил, что вертикальное напряжение превышает горизонтальные, то есть

$$\sigma_z = \gamma H; \quad \sigma_x = \sigma_y = \lambda \gamma H, \quad (8)$$

где $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$ – коэффициент бокового распора; μ – коэффициент Пуассона горной породы.

Поскольку для горных пород λ всегда меньше 1, то по данному расчету $\sigma_z > \sigma_x = \sigma_y$, однако данное положение не всегда подтверждается результатами экспериментальных измерений напряжений. Это связано

наличием в определенных участках земной коры остаточных и тектонических напряжений. Указанные расчетные формулы А.Н. Динника установлены для однородного массива горных пород.

Для слоистого анизотропного массива пород, как показали Г.Х. Лехницкий [3] и Ж.С.Ержанов [2] коэффициент бокового распора λ пород зависит от характеристик упругости и от ориентации слоев пород и поэтому для слоистого анизотропного массива пород напряжения определяются по следующей формуле

$$\sigma_z = \gamma H; \quad \sigma_x = \lambda_x \gamma H; \quad \sigma_y = \lambda_y \gamma H \quad (9),$$

где λ_x , λ_y – коэффициенты бокового распора по направлениям X и Y.

Значение коэффициента бокового распора для трещиноватых и сыпучих сред определяется по формуле Г.Л. Фисенко [4]

$$\lambda = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (10),$$

где φ – угол внутреннего трения горной породы.

2.2 Методы определения напряжений

Методы исследования напряжённого состояния массива горных пород по сравнению с другими характеристиками массива – свойствами и структурными особенностями - имеют некоторую специфику.

Прежде всего, это проявляется в том, что напряжения не являются, вообще говоря, физической величиной. Это некоторая математическая абстракция, которая непосредственно измерена быть не может. Напряжения всегда определяются или вычисляются по результатам измерения деформаций или каких-либо других параметров, корреляционно связанных с напряжениями.

Второй специфический момент заключается в том, что в таких исследованиях весьма существенное значение приобретают различного рода

оценочные методы, с помощью которых сначала устанавливается вид напряжённого состояния, основные соотношения между компонентами общего тензора напряжений и только после этого выполняются работы по непосредственному измерению абсолютных значений напряжений.

Способы определения естественных напряжений в массиве горных пород, в окрестностях выработок, в целиках и т. д. по физическим принципам, положенным в их основу, можно подразделить на несколько групп.

Первую группу составляют способы, суть которых - **оценка параметров различных технологических процессов** горного производства, изменяющихся **в зависимости от степени естественной напряженности** массива. К этой группе относятся способы, основанные на определении усилия подачи бурового инструмента на забой скважины, процента выхода и фракционного состава штыба и буровой мелочи, степени выхода и вида разрушения керна буровых скважин, формы и размеров сечений буровых скважин, камуфлетных полостей при взрыве зарядов постоянной мощности, горных выработок, а также методы, в определенной степени моделирующие указанные процессы (вдавливание штампа в забой или стенки скважины, применение специальных прочностномеров и пр.).

Ко **второй группе** относятся **деформационные способы**, в основе которых лежит измерение деформаций пород с последующим вычислением действующих напряжений.

Наиболее распространенным деформационным способом определения абсолютных значений напряжений является **метод разгрузки**. Он основан на измерении упругих деформаций восстановления при отделении некоторого элемента от породного массива и разгрузке его от действовавших в нем напряжений. По измеренным деформациям, зная упругие константы пород (модуль продольной упругости E и коэффициент поперечных деформаций μ), вычисляют действовавшие в массиве напряжения, используя математический аппарат теории упругости.

Применяют метод в двух основных вариантах:

- в варианте торцевых измерений;
- в варианте соосных скважин.

Вариант торцевых измерений получил в странах бывшего СССР и странах СЭВ наибольшее распространение. В результате совместных работ специалистов из ГДР, ПНР, СССР и ЧССР применительно к этому варианту, для условий скальных пород, были разработаны и серийно выпускались унифицированные комплекты измерительной аппаратуры и оборудования.

Для измерений бурят из горной выработки в заданном направлении скважину диаметром 76-80 мм. В выбранной для измерений точке массива коронкой специальной конструкции шлифуют забой (торец) скважины. Затем с помощью прижимного и ориентирующего устройств к торцу скважины в строго ориентированном положении приклеивают розетку из четырех или трех электротензометрических датчиков. После полной полимеризации клея, обеспечивающего совместность деформаций пород и тензодатчиков, кольцевой коронкой производят обуривание торца скважины. При этом обуриваемый элемент породного массива освобождается от действовавших в нем напряжений и испытывает деформации, фиксируемые тензодатчиками.

Используя формулы теории упругости, связывающие измеренные деформации и соответствующие им напряжения, определяют напряжения в плоскости торца скважины. При вычислении напряжений необходимые упругие константы пород E и μ определяют по породному керну, который получают при обуривании торца скважины в точке измерения. Это позволяет исключить погрешность, обусловленную вариациями упругих констант в различных точках массива.

Описанный цикл измерений дает значения главных (квазиглавных) напряжений в плоскости торца скважины в одной выбранной точке массива. Продолжая бурение скважины и повторяя аналогичные измерения в других намеченных точках, получают серию измерений, которые подвергают затем математической обработке и анализу.

Вариант соосных скважин отличается от описанного тем, что бурят опережающую центральную скважину малого диаметра (около 40 мм). В ней устанавливают деформометры (схема Н. Хаста) либо на ее стенки с помощью специальных приспособлений наклеивают тензодатчики (схема Е. Лимана, рис. 2).

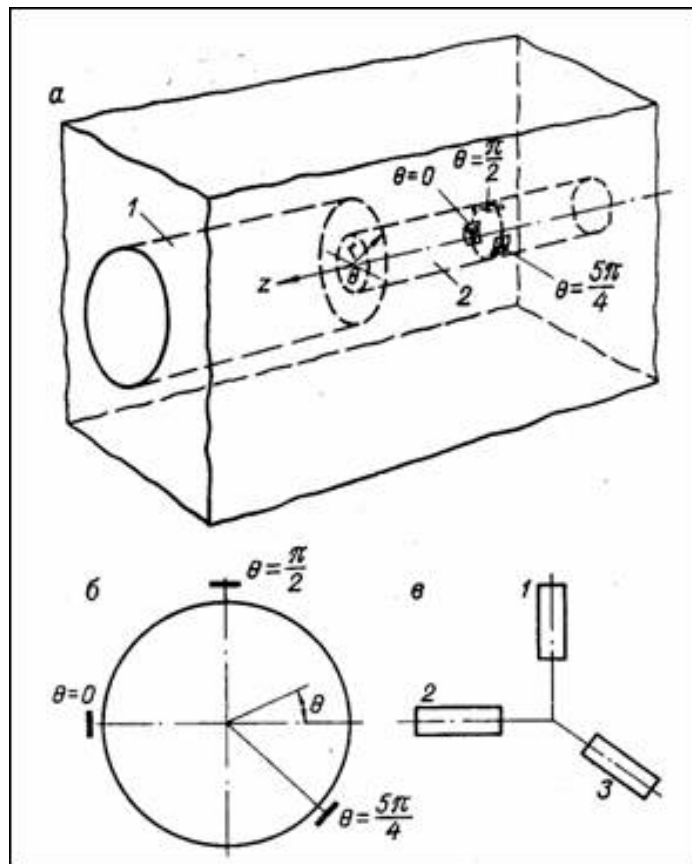


Рис. 2. Схема наклейки электротензометрических датчиков на стенки скважины малого диаметра при измерениях напряжений в массиве пород методом разгрузки в варианте соосных скважин (схема Е. Лимана).

а – расположение измерительной и разгрузочной скважины, б – размещение тензодатчиков на стенках скважины малого диаметра, в – расположение датчиков в розетке

1 – скважина диаметром 110-120 мм или больше, 2 – измерительная скважина диаметром 40 мм

В первом случае фиксируют изменение диаметра центральной скважины по различным направлениям. При этом для перехода от измеренных перемещений (изменений диаметров центральной скважины) к напряжениям

используют данные лабораторной градуировки датчиков деформометра в специально вырезанных породных призмах с модулем упругости, равным модулю упругости исследуемого массива.

Во втором случае, при расположении датчиков по схеме, приведенной на рис. 2 в, напряжения вычисляют по результатам измерения деформаций $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$.

В случаях, когда в напряженных породных массивах при разгрузке наряду с мгновенными упругими деформациями проявляются деформации упругого последствия, вычисленные напряжения будут отличаться в большую сторону по сравнению с фактическими, например в аргиллитах эта разница может достигать 17%. При определении напряжений в таких породах с использованием формул теории упругости в результаты измерений вводят поправки, либо применяют формулы, непосредственно учитывающие неупругие свойства пород, устанавливаемые по данным лабораторных испытаний.

Наряду с определением абсолютных значений действующих напряжений часто требуется проследить за их изменениями во времени по мере развития горных работ. Применять для этого метод разгрузки, повторяя каждый раз полный комплекс трудоемких измерений, нецелесообразно.

Для определения изменений напряженного состояния пород во времени обычно применяют различные **деформометры**, размещаемые в буровых скважинах и фиксирующие изменения диаметра скважин по различным направлениям, поперечные и продольные деформации стенок скважины, либо суммарный эффект деформаций скважины. Применяют при этом два типа деформометров.

Первый тип – это так называемые податливые включения (иногда их называют "мягкими") – деформометры, фиксирующие деформации стенок скважины, практически не оказывая воздействия на массив пород. Второй тип – упругие включения (жесткие включения), оказывающие активное сопротивление деформациям горных пород.

Разработано и применяется большое количество различных деформометров. Наиболее широко используют **скважинные гидравлические датчики**, применение которых основано на методе разности давлений. В скважину помещают гидравлический датчик – цилиндрический домкрат с резиновой оболочкой и создают на контакте с горной породой исходное давление. Изменение давления в гидросистеме, фиксируемое манометром, является исходным для расчета изменения напряжений в рассматриваемой точке массива.

Различные по конструкциям поперечные и продольные деформометры позволяют фиксировать изменения диаметров скважин и продольные деформации по скважинам с помощью проволочных тензодатчиков сопротивления, индукционных, емкостных, магнитострикционных и других датчиков. Широкое распространение получили также **фотоупругие покрытия**, определение напряжений в которых ведут путем наблюдения интерференционной картины в поляризованном свете и измерения оптической разности хода с помощью полярископов.

Значительно распространены **фотоупругие** (оптически чувствительные) **датчики**. Датчик в виде упругого включения из оптически чувствительного стекла – сплошной или полый цилиндр – помещают в скважине, обеспечивая его надежное сцепление с породным массивом посредством цементирования. Применение полых цилиндров позволяет изменять чувствительность датчиков путем подбора необходимых соотношений их внешнего и внутреннего диаметров.

В качестве примера можно привести серийно выпускаемую портативную аппаратуру японской фирмы Соккиша для измерения напряжений в массиве пород с помощью фотоупругих датчиков. Аналогичные конструкции шахтных полярископов разработаны и в Российской Федерации.

Так называемые **компенсационные способы** определения действующих напряжений в массивах горных пород относятся к **третьей группе**. Сущность этих способов заключается в первоначальном снятии и последующем

искусственном восстановлении напряжений на изучаемом участке массива. Снятие напряжений – разгрузка массива – осуществляется с помощью создаваемых полостей различных конфигураций (скважин, щелей и т. д.), а восстановление напряженного состояния – путем нагружения образованных полостей с помощью специальных нагрузочных приспособлений (дилатометров, домкратов, гидроподушек и др.).

Широкое распространение из способов этой группы в последние годы получил метод *гидроразрыва*. Особенностью этого метода является восстановление естественных напряжений в скважине и дальнейшее их увеличение до появления трещин разрыва в стенках.

Все рассмотренные методы характеризуются весьма небольшими базами, т.е. они обеспечивают получение величин напряжений для объемов, включающих только малых по размерам структурных неоднородностей. Некоторые из этих методов имеют не высокую точность (например, метод гидроразрыва).

В противоположность этому, **четвертую группу** составляют **геофизические способы** измерений напряжений в значительных базах массива горных пород, которые основаны на взаимосвязи с естественным напряженным состоянием параметров различных искусственно наводимых физических полей. Параметры напряженного состояния, получаемые этими методами, обычно характеризуют большие объемы массива, которые могут включать структурные неоднородности III-го, а иногда и II-го порядков. Эти методы отличаются высокой мобильностью и производительностью.

Среди геофизических способов наиболее полно разработан *импульсный сейсмический* (ультразвуковой) *метод определения напряжений*. Он основан на взаимосвязи с напряженным состоянием горных пород акустических (сейсмических) характеристик – скорости и затухания упругих волн, возбуждаемых в массиве. Для количественной оценки напряжений в породном массиве используют *эффект скоростной анизотропии пород* при их нагружении.

Сущность этого эффекта состоит в том, что для многих пород с возрастанием давления увеличивается скорость продольных упругих волн. При этом рост скорости происходит по тому же направлению, что и увеличение нагрузки, тогда как в других направлениях эти изменения незначительны.

Для различных пород рост скоростей продольных волн с увеличением давления неодинаков: от нескольких процентов до 50% и более. Рост скоростей начинается сразу же с увеличением давления и прекращается при напряжениях, составляющих для различных пород 30-70% разрушающего напряжения сжатия. При неравномерном нагружении, т. е. когда напряжения по одному из направлений превышают таковые по другим направлениям, в массиве пород появляется скоростная анизотропия.

В натуральных условиях измерения ведут по схеме прозвучивания в трех параллельных шпурах или скважинах, пробуриваемых в вершинах прямоугольного треугольника с длиной катетов около 50 см. Для измерений применяют те же самые серийные переносные ультразвуковые дефектоскопы и ультразвуковые шахтные датчики, что и для определения упругих характеристик в массиве пород.

В случаях, когда при нагружении образцов пород до разрушающих напряжений скорость ультразвуковых волн не возрастает или прирост скорости колеблется в незначительных пределах, сейсмоакустические измерения для оценки напряжений в массиве пород неприменимы.

Менее разработан и реже применяется *радиометрический метод* определения напряжений, связанный с наведением в исследуемом участке массива радиационного поля. Метод основан на эффекте различного поглощения радиоактивных излучений породами в зависимости от их плотности. С ростом сжимающих напряжений плотность пород, особенно сравнительно малоплотных, существенно возрастает. Этот эффект используют для оценки напряжений в угольном массиве и породах угленосных толщ. Но он может дать достаточно надежные результаты и для весьма плотных скальных

пород, таких как граниты, диабазы и др., для которых абсолютные изменения плотности с ростом всестороннего давления обычно не превышают 1%.

Электрометрический метод определения напряжений принципиально осуществим в двух модификациях: на постоянном и переменном токе. Метод основан на эффекте изменения удельного электрического сопротивления пород с изменением их напряженного состояния.

Характерно, что в зависимости от состава и структуры пород знак изменения сопротивления с ростом давления может быть различным. Для пород с высокой пористостью и большим содержанием влаги вследствие уменьшения сечения токопроводящих каналов и частичного закрытия пор сопротивление с ростом давления увеличивается. Для плотных изверженных и других пород с низким содержанием влаги, проводимость которых определяется в основном наличием токопроводящих компонентов, вследствие их уплотнения под действием сжимающих напряжений и уменьшения расстояний между проводящими компонентами сопротивление понижается.

Удельное электрическое сопротивление весьма чувствительно к изменению напряжений. Но в то же время оно еще чувствительнее к изменениям влажности пород. Наряду с влажностью существенную роль играет степень минерализации подземных вод. Вследствие отмеченных обстоятельств применение электрометрического метода, по-видимому, ограничивается условиями рудников, где полностью отсутствуют водопритоки и нет колебаний влажности пород.

Возможен и принципиально другой подход к оценке напряженного состояния пород на основе электрометрических измерений. Он базируется на измерении параметров естественного геоэлектрического поля в массиве пород и изменений этих параметров с изменением напряженного состояния.

Магнитный метод определения напряжений базируется на слабых ферромагнитных свойствах и положительной магнитострикции ряда горных пород. В таких породах с изменением напряжений меняется магнитная

восприимчивость. Эти изменения и подлежат измерению для оценки изменений напряженного состояния.

Широкое применение для оценки напряженного состояния горных пород и прогнозирования опасных ситуаций, связанных с внезапными обрушениями пород, горными ударами, внезапными породными выбросами, получил *сейсмоакустический (звукометрический) метод*. Он основан на использовании естественных акустических (звуковых) импульсов, возникающих в массиве пород вследствие микроразрушений, обусловленных общим или локальным ростом напряжений. Регистрацию импульсов ведут с помощью специальных датчиков - геофонов, устанавливаемых в скважины и воспринимающих звуковые колебания, возникающие в окружающем массиве при микроразрушениях.

Звуковые импульсы, воспринимаемые геофоном, могут непосредственно прослушиваться наблюдателем, либо регистрироваться на ленте самописца. Возможна высокочастотная проводная, либо беспроводная дистанционная передача и автоматическая регистрация поступающих импульсов.

Число импульсов, регистрируемых в единицу времени, соответствует числу единичных микроразрушений в массиве пород вблизи места нахождения геофона. Изменение числа импульсов служит показателем относительного изменения уровня напряженности породного массива. Этот показатель, существенно различный для разных горногеологических условий, используют как критерий степени опасности обрушений и динамических проявлений горного давления в соответствующих частях массива, в пределах которых проводят наблюдения и осуществляют сейсмоакустический контроль.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА

3.1 Анизотропность механических свойств горных пород

Отличительной особенностью горных пород некоторых месторождений, которые представлены различными песчаниками, сланцами и филлитами, является их слоистая структура, так как они имеют осадочное и

метаморфическое происхождение. Обычно по слоям силы связи ослаблены, слои представляют собой нарушения сплошности. Поэтому при расчетах устойчивости бортов карьера таких месторождений необходимо учитывать слоистость и анизотропность горных пород.

При испытании слоистых сланцев или филлитов на прочность при одноосном сжатии и растяжении необходимо уделить особое внимание на их слоистость, чтобы установить, как изменяется прочность в зависимости от направления слоев по отношению к направлению действующей силы. Поэтому для отобранных слоистых горных пород прочность при одноосном сжатии и растяжении определяется, испытывая образцов вдоль (параллельно - //) и поперек (перпендикулярно - \perp) слоистости, а также под разными углами.

Результаты опытов показывают, что если провести испытание при разных углах между направлением слоев и направлением действующей силы, то величина определяемого показателя прочности на одноосное сжатие и растяжение каждого из испытанных образцов будет различной, что было установлено в процессе проведения экспериментов [9].

Анизотропность горных пород можно характеризовать коэффициентом анизотропии, представляющего собой отношение максимального значения показателя свойства к минимальному значению данного показателя по разным направлениям. Например, коэффициент анизотропии горной породы по прочности при одноосном сжатии можно представить как отношение прочности на сжатие перпендикулярно слоистости к прочности на сжатие при угле слоистости 45° , тогда как при одноосном растяжении – отношением прочности на растяжение вдоль слоистости к прочности на растяжение перпендикулярно слоистости (90°). ..

Результаты экспериментальных исследований прочностных свойств слоистых горных пород позволяют отметить следующее. Прочность при одноосном сжатии и растяжении слоистых горных пород в значительной мере зависит от значения угла между направлением приложенной силы и слоистости (α). Наибольшие значения прочности при одноосном сжатии характерны для

направления сжатия поперек ($\alpha=90^0$) и параллельно ($\alpha=0^0$) слоистости, наименьшие – для углов $30-50^0$ между направлением сжатия и направлением слоистости. Значения скоростей прохождения ультразвуковых волн также изменяются в зависимости от угла (α) между направлением слоистости и направлением прозвучивания. Максимальное значение скорости продольной волны имеет место при прохождении волн параллельно слоистости, а минимальное – перпендикулярно слоистости [8,9,10].

Известно, что механические свойства слоистых горных пород (сланцы, филлиты, песчаники) в зависимости от угла между направлениями слоистости и внешнего воздействия изменяются значительно. Например, в результате испытаний филлитов Кумторского месторождения было выявлено, что при разных углах между направлениями слоистости и действующей силы величина определяемого показателя прочности различная. Однако, как показал анализ результатов ранее выполненных исследований, до настоящего времени нет количественной оценки изменения показателей прочности горных пород от угла между направлением слоистости и приложенной силы. Проводится учет изменения прочности только для двух случаев, а именно для случаев параллельно и перпендикулярно слоистости. Прочностные и деформационные характеристики слоистых горных пород в значительной мере – в среднем 2-3 раза изменяются в зависимости от угла между направлениями слоистости и внешнего воздействия [8].

3.2 Учет анизотропности прочностных характеристик при определении устойчивости борта карьера

Анизотропия горных пород (минералов) это – различие значений их свойств (прочностных, деформационных, электрических, тепловых, магнитных, оптических) по разным направлениям. В данном случае рассматривается анизотропия прочностных характеристик горных пород. Горные породы часто, а кристаллы минералов всегда анизотропные, вследствие чего определение

характеристик свойств производят на образцах в двух или трех взаимно перпендикулярных направлениях и вычисляют коэффициенты анизотропии [7]:

$$k_a = \frac{X_{//}}{X_{\perp}}, \text{ где } X_{//} \text{ и } X_{\perp} - \text{значения характеристик соответственно вдоль и}$$

поперек слоистости, напластования, или преимущественной ориентации кристаллов или трещин в породе. Прочностные показатели слоистых горных пород (сланцы, филлиты, песчаники) в зависимости от угла между направлениями слоистости и действующей силы – α изменяются значительно. В связи с этим в расчетах геометрических параметров и устойчивости обнажений горных выработок необходимо учитывать фактор анизотропности горных пород. В расчетах коэффициента запаса устойчивости обнажений (борта карьера, потолочины камер и т.п.) горных выработок предлагается учитывать влияния фактора анизотропности прочностных свойств горных пород путем использования в расчетах значений прочностных характеристик при соответствующих углах между направлением слоистости и приложенной силы α [8]:

$$\sigma_{сж(\alpha_i)} = \sigma_{сж(90^0)} - \sigma_{сж(90^0)} \cdot \cos \alpha_i \sin \alpha_i + 2 \cos \alpha_i \sin \alpha_i \quad (11),$$

где α – угол между направлением слоистости и сжимающей силы;

$\sigma_{сж(\alpha_i)}$ – прочность при одноосном сжатии для i -го угла слоистости;

$\sigma_{сж(90^0)}$ – прочность при одноосном сжатии для угла слоистости 90^0 .

$$\sigma_{P(\alpha_i)} = \sigma_{P(90)} - 7 \cos \alpha_i \quad (12),$$

где α – угол между направлением слоистости и действующей силы (Бразильский метод – сжатие по образующей цилиндрического образца);

$\sigma_{P(\alpha_i)}$ – прочность при растяжении для i -го угла;

$\sigma_{P(90)}$ – прочность при растяжении для угла $\alpha=90^0$.

Формула 12 справедлива для скальных горных пород с прочностью

$$\sigma_{P(90)} > 7 \text{ МПа.}$$

С учетом установленных формул 11 и 12 для слоистых горных пород сцепление C и угол внутреннего трения Φ определяется по следующей формуле

$$C_{\alpha_i} = \frac{\sqrt{\sigma_{сж}(\alpha_i) \sigma_{P(\alpha_i)}}}{2}; \quad tg \varphi_{\alpha_i} = \frac{\sigma_{сж}(\alpha_i) - \sigma_{P(\alpha_i)}}{2\sqrt{\sigma_{сж}(\alpha_i) \sigma_{P(\alpha_i)}}} \quad (13),$$

где φ_{α} – угол внутреннего трения и C_{α} – показатель сцепления анизотропной горной породы для угла α соответствующего к реальным условиям;

При определении коэффициента запаса устойчивости обнажений применяются так называемые метод напряжений и метод сил.

«Метод напряжений» в основе своей исходит из дифференциальной оценки прочности массива или запаса прочности в точке. «Метод сил» предполагает интегральную оценку устойчивости с вычислением сдвигающих и удерживающих усилий для призмы возможного обрушения. В дальнейшем для обозначения этих способов вычисления коэффициента запаса устойчивости будем использовать символы η_H и η_S [11].

Математические выражения коэффициентов η_H и η_S имеют вид

$$\eta_H = \frac{C_m + tg \varphi \cdot \sigma_n}{\tau_n} \quad (14), \quad \eta_S = \frac{C_m \cdot L + tg \varphi \cdot N}{T} \quad (15),$$

где C_m – сцепление породы в массиве ; Φ – угол внутреннего трения породы;

σ_n - нормальное напряжение ; τ_n – касательное напряжение;

N – результирующая сила нормального давления от веса призмы возможного обрушения по линии (поверхности) скольжения; T – сдвигающее усилие;

$C_m = k_c \cdot C$, где k_c – коэффициент структурного ослабления массива горных пород.

Как известно выражения (14) непосредственно не используются для нахождения запаса устойчивости. Площадка Π определяется из условия

$|\tau_n^{\text{пр}} - \tau_n| \rightarrow \min$, где $\tau_n^{\text{пр}} = C + \text{tg}\varphi \cdot \sigma_n$, т.е. предельное касательное напряжение на площадке Π (сопротивляемость сдвигу). Условия минимизации дает угол наклона площадки скольжения $\beta = \pi / 4 - \varphi / 2$.

Известные соотношения теории упругости определяют величины σ_n и τ_n через главные напряжения σ_1 и σ_2 ($\sigma_1 > \sigma_2$) следующим образом

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\beta ; \quad \tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\beta \quad (16)$$

Тогда с учетом $\beta = \pi / 4 - \varphi / 2$ получим

$$\eta_H = \frac{2C_m + \text{tg}\varphi [\sigma_1 + \sigma_2 - (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \sin \varphi]}{(\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \cos \varphi} \quad (17)$$

Дальнейший анализ выражения (17) возможен при конкретизации напряжений σ_1 и σ_2 . Примем следующие распределения напряжений, характерные для сплошного массива

$$\sigma_1 = \gamma \cdot h, \quad \sigma_2 = \lambda \cdot \gamma \cdot h \quad (18),$$

где λ – коэффициент бокового распора – $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$, μ – коэффициент

Пуассона; γ – объемный вес горной породы; h – рассматриваемая глубина (глубина разработки месторождения).

Подставляя (18) в (17) получим

$$\eta_H = \frac{2C_m + \text{tg}\varphi \cdot \gamma \cdot h [(1 + \lambda) - (1 - \lambda) \cdot \sin \varphi]}{\gamma \cdot h (1 - \lambda) \cdot \cos \varphi} \quad (19)$$

Далее с учетом показателей прочности образцов и коэффициента структурного ослабления массива, угла слоистости пород подставляя в формулу (19) соответствующие значения из формул (11), (12) и (13) получим окончательную формулу, позволяющую определять коэффициент устойчивости борта карьера для разных углов слоистости горных пород и глубин разработки [8].

$$\eta_{i \alpha_i} = \frac{2k_c C_{\alpha_i} + \operatorname{tg} \varphi_{\alpha_i} \cdot \gamma \cdot h_i [(1 + \lambda_i) - (1 - \lambda_i) \cdot \sin \varphi_{\alpha_i}]}{\gamma \cdot h_i (1 - \lambda_i) \cdot \cos \varphi_{\alpha_i}} \quad (20)$$

4. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ

4.1 Организация выполнения курсового проекта

Курсовой проект выполняется в 4 семестре. Задание студенту выдается после прохождения лекционных занятий и выполнения лабораторных работ по определению прочностных свойств горных пород и действующих напряжений преподавателем, ведущим курс «Физика горных пород».

Задание составляется с учетом разных конкретных условий для каждого варианта. Вместе с заданием указывается учебная, научная и методическая литература. Руководителем курсового проекта является преподаватель, назначенный кафедрой по предмету «Физика горных пород».

Перед выполнением курсового проекта студент обязан детально изучить методические указания к курсовому проектированию «Физика горных пород», ознакомиться и освоить теоретические и экспериментальные результаты исследований прочностных свойств горных пород и их анизотропности, методы теоретического расчета и экспериментального определения напряжений в массиве горных пород, методы расчета устойчивости бортов карьера с учетом анизотропности и структурной ослабленности породного массива. Курсовой проект выполняется в течение отведенного времени по индивидуальному

графику и по мере выполнения контролируется руководителем по качеству и объему завершенных частей.

Завершенный курсовой проект – пояснительная записка и чертежи – защищается перед комиссией кафедры, которая выносит окончательную оценку. Принятый и зачтенный курсовой проект сдается на кафедру для хранения. При неудовлетворительной оценке курсовой проект возвращается для исправления или дополнения, либо выдается новое задание.

4.2 Исходные данные и задание на курсовое проектирование

Исходные данные

Вариан- ты	П а р а м е т р ы							Конечная глубина/ ширина дна карьера Н/А, м
	Угол борта/ слоис- тости δ / α , градус	k_c	$h_1, h_2, h_3,$ м	$\sigma_{сж(90)},$ МПа	$\sigma_{р(90^0)},$ МПа	μ	γ , т/м ³	
1	60/40	0,4	150,170, 200	61	12	0,25	2,65	220/20
2	64/45	0,5	200,350,360	72	14	0,23	2,70	400/30
3	72/30	0,3	100,200,300	90	15	0,27	2,67	370/30
4	70/40	0,4	250,390 410	82	13	0,28	2,63	450/25
5	60/60	0,3	300,520,540	91	14	0,24	2,72	560/40
6	74/45	0,4	410,420 440	79	12	0,29	2,64	500/30
7	63/70	0,2	250,270,278	120	15	0,3	2,66	300/20
8	65/0	0,3	100,223, 533	67	11	0,24	2,7	550/30
9	64/50	0,4	200,426,440	73	14	0,27	2,64	470/30
10	57/30	0,5	250,300, 310	109	15	0,23	2,73	340/20
11	50/ 42	0,4	170,320, 330	75	11	0,24	2,71	370/30
12	68/44	0,6	120, 240,520	68	9	0,28	2,69	530/30
13	64/40	0,5	210, 330,410	89	12	0,24	2,70	450/20
14	55/20	0,3	100,220, 310	98	14	0,17	2,72	430/30
15	53/45	0,3	140, 170,300	100	12	0,26	2,68	380/20

Задание на курсовое проектирование

1. Определить коэффициент устойчивости борта карьера в 3-х точках (глубинах h_1 , h_2 , h_3) по вертикальной линии, расположенной в 2 м от верхней бровки борта карьера в глубь породного массива с учетом угла слоистости и структурной ослабленности горных пород. Определить коэффициент устойчивости борта карьера для случая падения направления слоистости вскрышных горных пород в сторону дневной поверхности борта карьера.

Определить коэффициент устойчивости борта карьера для случая падения направления слоистости вскрышных горных пород в сторону дневной поверхности борта карьера.

2. На листе форматом 24 изобразить графически в масштабе паспорт прочности горной породы и разрез конечного контура карьера с указанием уступов и направления слоистости вскрышных горных пород, а также составить таблицу исходных данных и результатов определения коэффициента устойчивости борта карьера.

4.3 Требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект включает графическую часть – один ватманный лист форматом 24 и пояснительную записку сжатого и ясного текста в пределах 20-25 страниц машинописного текста. Каждый лист записывается с одной (лицевой) стороны с оставлением полей и нумеруется порядковым номером.

Отдельно выполненные эскизы, схемы и таблицы включаются в общий объем пояснительной записки. Каждый рисунок и таблица обязательно нумеруются и в тексте даются ссылки на соответствующий номер рисунка и таблицы.

В начале пояснительной записки (после титульного листа) приводится индивидуальное задание по варианту на разработку курсового проекта,

выдаваемого преподавателем кафедры. Затем идет оглавление с указанием всех разделов курсового проекта и номеров соответствующих страниц.

В тексте даются расчеты и обоснование принятых решений, расчеты и необходимые пояснения к расчетам и чертежам. Расчеты по возможности следует сводить в таблицы.

В конце пояснительной записки помещается пронумерованный список всей использованной при составлении проекта литературы с указанием фамилии автора, издания и года выпуска, а также номера использованных страниц. При этом в тексте делаются ссылки на те, или иные источники литературы (внутри квадратной скобки приводится номер источника), страницы, используемые студентом в соответствующем первоисточнике.

Не допускается произвольно опускать отдельные разделы проекта без согласования с преподавателем, ведущим проектирование.

Полностью собранная пояснительная записка брошюруется и заключается в обложку.

Кроме рисунков и таблиц, включенных в пояснительную записку, курсовой проект должен содержать графическую часть, состоящую из одного листа ватмана форматом 814x516 мм. Эта часть выполняется с соблюдением всех правил технического черчения. Такие же требования предъявляются к специальному штампу, помещенному в нижнем правом углу листа.

Чертеж должен быть одноцветным и обведен рамкой.

На ватманском листе изображаются:

- а) паспорт прочности горной породы в виде кругов Мора в масштабе;
- б) разрез конечного контура карьера с указанием уступов и направления слоистости вскрышных горных пород;
- в) таблица исходных данных и результата определения коэффициента устойчивости борта карьера.

Последовательность выполнения курсового проекта осуществляется в соответствии с методическим указанием на выполнения курсового проекта по предмету физика горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Динник А.Н.* О давлении горных пород и расчет крепи круглой выработки // Инженер, работник. 1925 г. , № 7. – С. 1-12.
2. *Ержанов Ж.С.* Об оценке напряженного состояния нетронутого горного массива // Математические методы в горном деле. – Новосибирск, 1963. – Ч. 2. – С. 15-23.
3. *Лехницкий С.Г.* Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 415 с.
4. *Фисенко Г. Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Наука, 1965. – 221 с.
5. *Heim A.* Untersuchungen uber den Mechanismus der Gebirgsbildung/ -Berlin. 1878/ - Vol. 1-2.
6. *Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф.* Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра. – 1969. – 391 с.
7. *Ржевский В.В., Новик Г.Я.* Основы физики горных пород. – М.: "Недра", 1984. – 359с.
8. *Тажобаев Д. К.* Обоснование устойчивости бортов карьера с учетом анизотропности механических свойств горных пород (на примере Кумторского месторождения) //Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Бишкек, 2009. – 26 с.
9. *Тажобаев К.Т., Тажибаев Д.К.* Зависимости механических свойств горных пород от угла между направлением слоистости и внешнего воздействия / Современные проблемы механики сплошных сред: Вып. 4: Гидрогазодинамика и экзогенно-геологические процессы природы // Ком. по теорет. и прик. механике Кыргызстана. – Бишкек, 2005. – С 35-43.
10. *Тажобаев К.Т., Тажибаев Д.К.* Метод учета анизотропности механических свойств слоистых горных пород при расчетах устойчивости обнажений открытых и подземных горных выработок. Известия Кыргызского

технического университета им. И. Раззакова. – №8. – Бишкек, 2006. – С. 65-75.

11. *Полищук С.З.* Геомеханические задачи рационального природопользования на открытых горных работах. Киев: Наукова думка, 1998. – 180 с.
12. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Ленинград: ВНИМИ, Госгортехнадзор СССР, 1972. – 165 с.
13. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Ленинград: ВНИМИ, 1962. – 138 с.
14. *Демин А.М.* Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. – М.: Недра, 1973. – 232 с.

*К. Т. Тажобаев, Д. К. Тажобаев,
М.С. Акматалиева*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
«ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД»

Дизайн и верстка *Г.Н. Кирпа*
Ответственный за выпуск *В.Г. Рудов*
Подписано в печать 26.03.2014. Формат 60×84¹/₈
Печать офсетная. Тираж 100 экз. Заказ 441
Объем 4,0 п.л.

Издание подготовлено
в отделе оперативной полиграфии
Кыргызско-Российский Славянский университет

720000, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Киевская, 44
Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2а