

ГЛАВА 15.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

**15.1. Измерение деформаций и напряжений
на поверхности горных выработок**

**15.2. Измерение напряжений и деформаций
в глубине массива**

**15.3. Измерение перемещений в окрестности под-
земной выработки**

**15.4. Измерение нагрузки на крепь
горных выработок**

**15.5. Комплексный показатель устойчивости
протяжённых горных выработок**

**15.6. Оценка напряжений и структурных дефектов в
породных массивах методами томографии**

**15.7. Контроль состояния породной среды при под-
земном строительстве с помощью георадаров**

**15.8. Изучение процессов сдвижения породного
массива при подземной добыче
полезных ископаемых**

**15.9. Контроль за сдвижением породного массива
на карьерах**

15.10. Противооползневые мероприятия на карьерах

15.11. Наземное и подземное лазерное сканирование

15.12. Автоматизированная система геомеханиче- ского мониторинга подземных предприятий

Разработка теоретических представлений в геомеханике, как правило, начинается и заканчивается натурным экспериментом. Обнаружение несоответствия между теоретическими и экспериментальными результатами служит основанием и стимулом для дальнейшего совершенствования теории. В этой связи инструментальные методы изучения состояния горных пород массивов, проявлений горного давления в процессе добычи полезных ископаемых имеют очень большое значение в комплексе научных исследований.

Достаточно подробное описание методов и средств исследования и контроля состояния горных пород и процессов приведено в [221].

15.1. Измерение деформаций и напряжений на поверхности горных выработок

Известны три наиболее распространенных метода определения напряжений на поверхности горных выработок:

- метод полной разгрузки;
- метод частичной разгрузки;
- метод компенсационной разгрузки.

Метод полной разгрузки основан на измерении деформаций, возникающих при полном снятии напряжений на определенном участке поверхности массива путем создания четырех щелей (врубов). При этом полагается, что до разгрузки породный массив находился в упругом состоянии и пластическая составляющая деформаций отсутствует.

В предположении, что связь между напряжениями и деформациями линейна и известны направления действия главных напряжений (например, горизонтальное и вертикальное), для плоского напряженного состояния имеют место следующие зависимости:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2),$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1),$$
(15.1)

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - измеренные главные деформации; σ_1, σ_2 - вычисленные значения главных напряжений; E и μ - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона горных пород в месте измерений.

Последовательность выполнения операций при использовании метода полной разгрузки следующая. На выбранном участке поверхности горной выработки в предварительно пробуренных шпурах, расположенных на двух взаимноперпендикулярных линиях (горизонтальной и вертикальной), на цементно-песчаном растворе устанавливают по два репера (рис. 15.1).

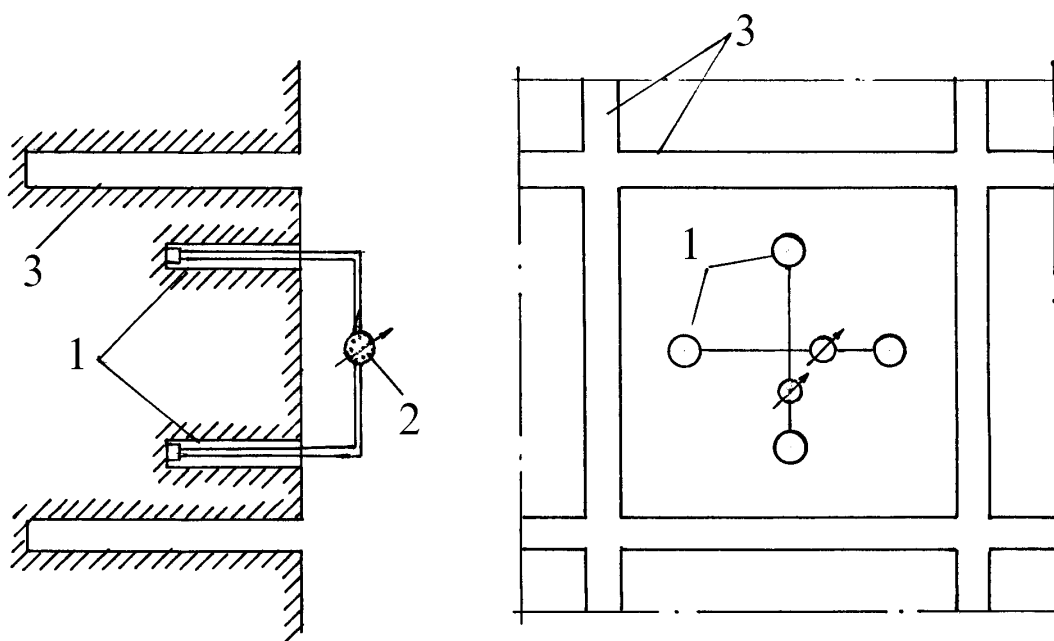


Рис. 15.1. Схема эксперимента по измерению деформаций на поверхности обнажения методом полной разгрузки:
1 - шпуры; 2 - тензометрический прибор; 3 - разгрузочная щель

Между реперами размещают тензометрические датчики или индикаторы часового типа 2. Затем проводят вертикальные щели и измеряют горизонтальные деформации. После проведения горизонтальных щелей измеряют, соответственно, вертикальные деформации. На оконечном щелями участке отбирают керноотборником пробы, на ко-

торых в лабораторных условиях определяют деформационные характеристики E и μ .

Метод частичной разгрузки основан на измерении деформаций в окрестности скважины небольшого (30-60 мм) диаметра, пробуренной в центре исследуемого участка поверхности выработки (рис. 15.2).

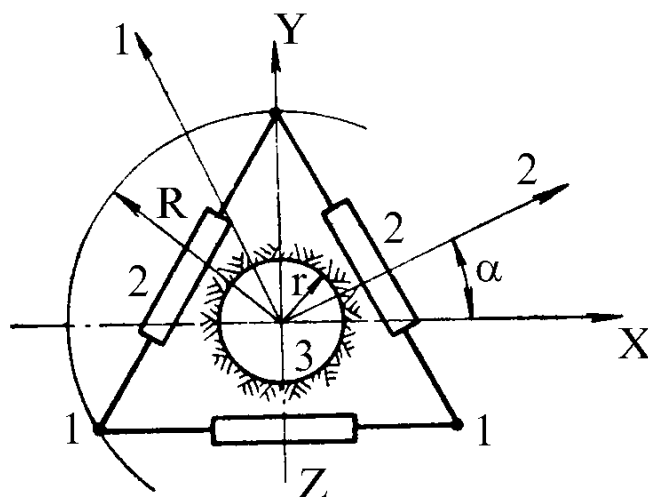


Рис. 15.2. Схема измерения деформаций на поверхности выработок по методу частичной разгрузки: 1 – шпур; 2 – тензометрический прибор; 3 – разгрузочная скважина

В этом случае на поверхности выработки в вершинах равностороннего треугольника бурят шпуры, в которые на цементно-песчаном растворе помещают анкера 1. Между анкерами устанавливают тензометрические приборы 2. В центре треугольника бурят разгрузочную скважину 3, глубина которой должна обеспечить стабильные показания приборов. Скважина создаёт частичную разгрузку массива, что дает возможность измерить деформации и по специальным формулам рассчитать величину и направление главных напряжений в месте измерений. Шпуры располагают на расстоянии 2-3 диаметров скважины от её центра.

Метод компенсационной разгрузки является разновидностью рассмотренного выше метода частичной разгрузки. Он основан на определении напряжений при восстановлении упругой деформации, возникающей при разгрузке, которая компенсируется путем нагружения разгруженной части массива до своего первоначального напряженного состояния. При этом нет необходимости определять упругие характеристики пород.

Сущность измерений напряжений по данному методу состоит в следующем рис. (15.3).

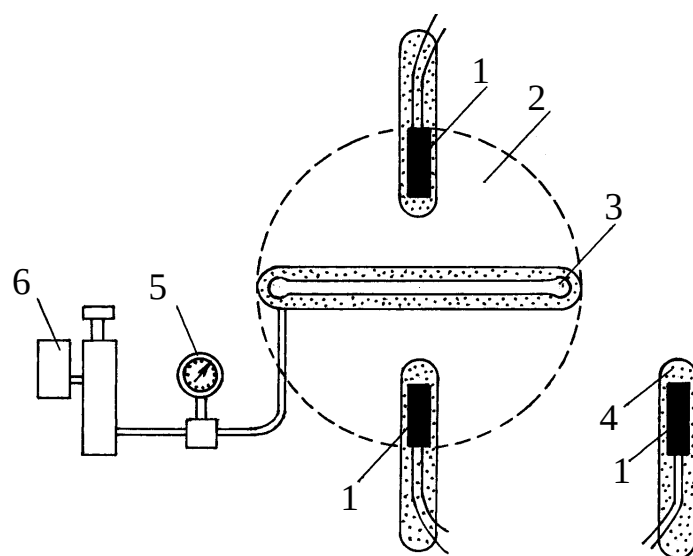


Рис. 15.3. Схема измерений по методу компенсационной нагрузки:
1 – тензодатчики; 2 – разгруженная зона пород; 3 – гидродушка;
4 – цемент; 5 – манометр; 6 – ручной гидронасос

На обнаженной поверхности площадью до 1-2 м² устанавливают несколько тензометрических датчиков, расположенных на таком расстоянии друг от друга, чтобы была возможность независимо регистрировать возможные деформации массива в различных направлениях. После снятия начальных показаний с датчиков, в массиве создают горизонтальные щели-врубы, а затем и вертикальные, или одновременно те и другие, которые частично разгружают породный массив.

Находящиеся в пределах действия разгрузки датчики регистрируют определенные деформации. Затем в щель (или в щели) устанавливают нагрузочное устройство, которое обеспечивает восстановление первоначального напряженного состояния участка массива. В качестве нагрузочного устройства обычно используют гидравлические подушки.

Гидравлическая подушка представляет собой металлическую коробку, связанную через гидросистему с гидронасосом. Обычно гидравлические подушки имеют размеры от 300х300х30 мм до 600х600х60 мм. Максимальное давление, создаваемое этими устройствами, составляет 50-70 МПа. Зная величину нагрузки и площадь ее

приложения, вычисляют значение напряжения, действующего в массиве перпендикулярно разгрузочной щели.

15.2. Измерение напряжений и деформаций в глубине массива

Изучение напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности выработки производят, обычно, пользуясь **методом разгрузки керна в скважине**.

Комплекс исследований состоит из нескольких этапов:

- бурение скважины на заданную глубину;
- установка на ее торце тензометрических приборов и снятие начальных показаний;
- выполнение мероприятий по снятию напряжений в торце скважины;
- регистрация показаний тензометрических приборов;
- отделение керна для последующего определения в лаборатории упругих характеристик;
- расчет напряжений, действующих в массиве.

Известны два варианта измерений напряжений по методу полной разгрузки керна в скважине:

- **метод разгрузки торца скважины по схеме ВНИМИ;**
- **метод разгрузки керна с центральной скважиной.**

По первому варианту напряжения определяют на основе измерения деформаций $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ упругого восстановления торца скважины при выбуривании керна (рис. 15.4).

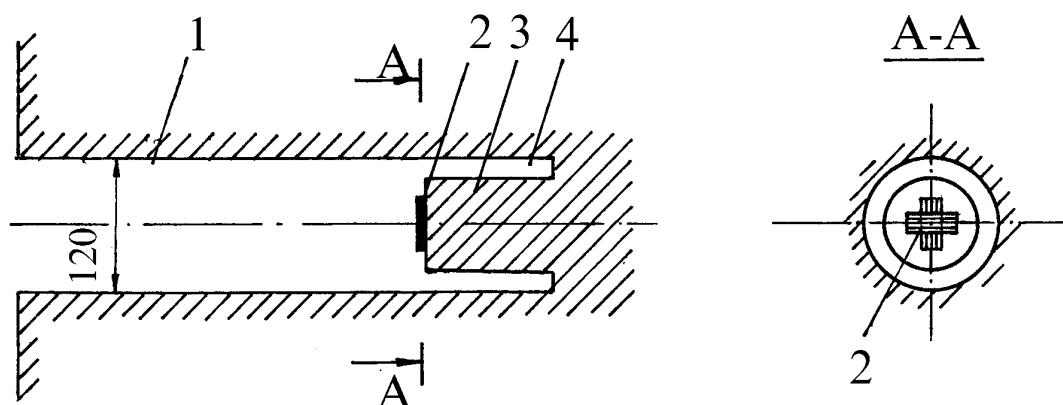


Рис. 15.4. Схема измерения напряжений по методу разгрузки керна с помощью кольцевой щели: 1 - скважина; 2 - тензодатчики; 3 - керн; 4 - кольцевая щель

Затем, используя известные соотношения, вычисляют компоненты напряжений, действующих в породном массиве. Последовательность действий при этом следующая.

В обнажении пробуривают на заданную глубину скважину диаметром от 100 до 200 мм в зависимости от прочности пород. Специальным диском, укрепленным на штанге, торец скважины шлифуется. На торце скважины закрепляют розетку электротензодатчиков (см. рис. 15.4).

В первое время на породу наклеивали тензодатчики длиной 30 мм с помощью специального приспособления. В последующем были разработаны более совершенные и надежные конструкции съемных тензометров.

Тензометр представляет собой легкую металлическую конструкцию, несущую необходимое число датчиков (розетку из 2-3 датчиков). Этот тензометр плотно прижимается к забою скважины так, что датчики получают достаточное сцепление с поверхностью забоя. Фиксация тензометра производится с помощью анкера, закрепляемого в опережающем отверстии, просверленном в породе, диаметром 6 мм и длиной 50 мм. Кабель от тензометра пропускают в пустотелую буровую штангу и с помощью коронки выбуривают кольцевой вруб. В результате происходит упругое расширение керна, которое фиксируется измерительной аппаратурой в процессе выбуривания керна.

Если имеются достаточно надежные данные о направлении одного из главных напряжений в массиве (например, по вертикали от гравитационных сил), тогда ограничиваются двумя датчиками, направленными по вертикали и горизонтали.

Модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ определяют в лабораторных условиях на образцах, полученных из кернов.

Если направления главных напряжений точно неизвестны, то необходимо применить розетку из трех тензодатчиков, расположенных под углом 45^0 и 60^0 , а для определения величины главных напряжений и их направления использовать соответствующие расчетные формулы [222].

После измерений на заданной глубине керн обламывается, скважина углубляется до следующего заданного интервала и комплекс работ по разгрузке керна повторяется. Последовательно выполненный цикл работ на заданную глубину позволяет построить эпюру напряжений в породном массиве, окружающем выработку.

При изучении вопроса о соответствии напряжений на торце скважины напряжениям в массиве было установлено наличие отклонений в зависимости от формы поверхности торца скважины.

Так, при плоском торце (рис. 15.5.а) напряжения оказались меньше, чем в массиве, - коэффициент концентрации $K=0,8$; при сферической форме (рис.15.5,б) $K=1,3 \div 1,4$. При комбинированной форме в виде усеченного конуса (рис. 15.5,в) с размерами $\alpha = 25^\circ$ и $d = \frac{1}{2}D$ коэффициент концентрации на центральной площадке близок к единице, т.е. напряжения здесь соответствуют напряжениям в массиве.

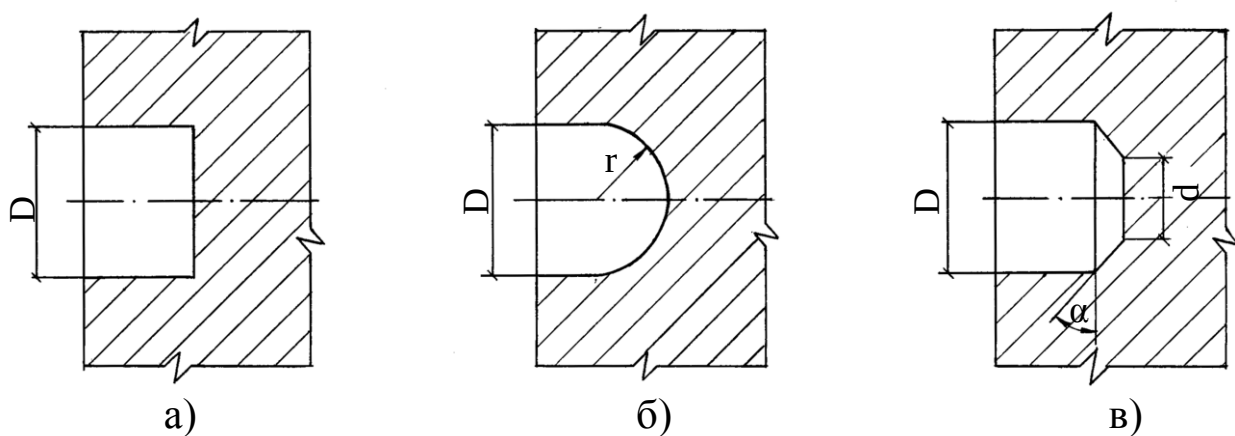


Рис. 15.5. Формы торцов скважины

По второму варианту измеряют изменение диаметра или деформации стенки центральной скважины в выбуриваемом керне (рис. 15.6).

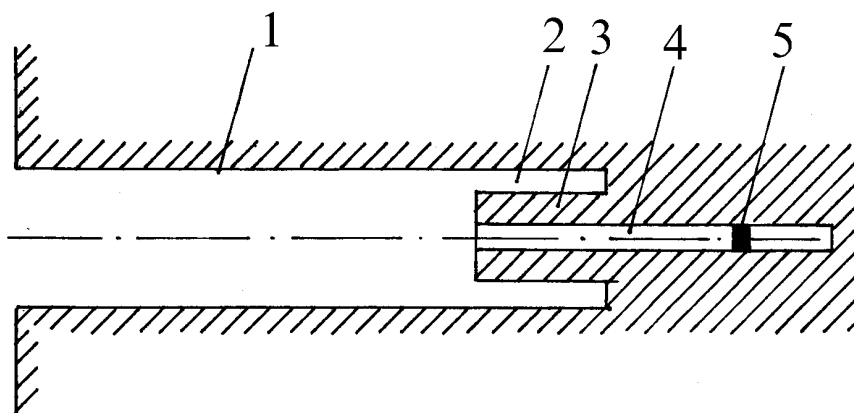


Рис. 15.6. Схема измерения напряжений по методу разгрузки керна с центральной скважиной: 1 - скважина; 2 - кольцевая щель; 3 - керн; 4 - центральная скважина; 5 - деформометр

Методика измерений сравнительно с предыдущей включает дополнительный этап - бурение центральной скважины. В зависимости от используемого измерительного прибора различают две схемы определения напряжений:

- на основе измерения диаметра центральной скважины в выбуриваемом керне;
- на основе измерения деформаций стенки центральной скважины в выбуриваемом керне.

В случае использования первой схемы измерительным прибором служит датчик напряжений, позволяющий обеспечить предварительный распор в скважине. При разгрузке керна с центральной скважиной показания датчика напряжений будут уменьшаться или увеличиваться в зависимости от того, находился ли массив под действием сжимающих или растягивающих нагрузок. Методика расчета позволяет определить величину и направление действия главных напряжений, действующих в массиве. Метод рекомендуется использовать в изверженных и других весьма крепких породах.

Методика определения напряжений по измерениям диаметра центральной скважины в выбуриваемом керне при свободном размещении тензометрического прибора позволяет измерять компоненты напряжений в породах средней крепости и ниже средней.

Эффективность метода разгрузки керна с центральной скважиной существенно зависит от состояния керна и соотношения между его длиной и диаметром. Для углей средней крепости это соотношение принимается равным 2,5-3,0, для углей крепких, аргиллитов, алевролитов - 3,0-4,0, для песчаников - 5,0-6,0.

На точность измерений напряжений в массиве горных пород по методу разгрузки керна в скважине влияет много факторов: погрешность аппаратуры, анизотропия и неоднородность горных пород, адекватность аналитической модели реальным условиям эксперимента, соотношение размеров керна и базы тензодатчиков, форма торца скважины, погрешности при определении упругих показателей пород.

При хорошо отработанной методике эксперимента суммарная погрешность составляет 20-30 %. Затраты времени на одно измерение составляют 2-4 часа.

Кроме перечисленных способов измерения напряжений в породном массиве известны также электрометрический и звукометрический методы.

Электрометрический метод измерения напряжений в массиве основан на взаимосвязи удельного электрического сопротивления пород с величиной напряжений. На основе этой взаимосвязи конструируют каротажные снаряды, которые при перемещении по скважине позволяют измерять электрическое сопротивление пород и по сопротивлению оценивать напряженное состояние.

Звукометрический метод состоит в регистрации количества звуковых сигналов, возникающих в напряженном массиве вследствие микроразрушений. При увеличении напряжений в целике или другой части массива интенсивность микроразрушений возрастает, что и фиксируется приборами. При определенном количестве в единицу времени микроразрушения являются как бы сигналами обрушения массива пород, разрушения целиков и т. п. Это позволяет предпринять меры, обеспечивающие безопасное ведение горных работ.

Измерения напряжений в стенках горных выработок и целиках, проведенные многими исследователями методом разгрузки, подтвердили в основном те характеристики поля напряжений вокруг выработок, которые получены расчетным методом и на фотоупругих моделях. В частности, в боках выработки наблюдалась концентрация напряжений, максимальное значение коэффициента концентрации напряжений составляло 2-2,5. Наряду с этим на некоторых месторождениях был выявлен принципиально другой характер напряженного состояния, когда горизонтальные напряжения σ_x превышают, иногда в несколько раз, вертикальные напряжения $\sigma_y = \gamma H$. Такое явление связано с тектоническими напряжениями.

15.3. Измерение перемещений в окрестности подземных выработок

15.3.1. Устройство замерных станций с контурными реперами

Для проведения наблюдений за смещениями породного контура в выработке выбирается участок, на котором оборудуются замерные станции. Каждая такая станция должна состоять из нескольких замерных пунктов, установленных в выработке на расстоянии друг от друга, равном двойному шагу установки рамной крепи.

Каждый замерный пункт представляет собой три контурных репера. Два из них установлены в противоположных боках выработки соосно на высоте 1,0 м от почвы выработки, и третий – в кровле вы-

работки по её вертикальной оси (рис. 15.7). Репер – это шпур длиной 0,50 м стандартного диаметра, в котором при помощи цементно-песчаного раствора или деревянных пробок закрепляются металлические штыри, выходящие одним концом в выработку. В месте установки реперов на контрольном участке межрамное пространство должно быть закрыто сетчатой затяжкой. Конец репера, выходящий в выработку, обычно выполнен в виде крюка для удобства фиксации шнуров отвеса и условного замерного горизонта.

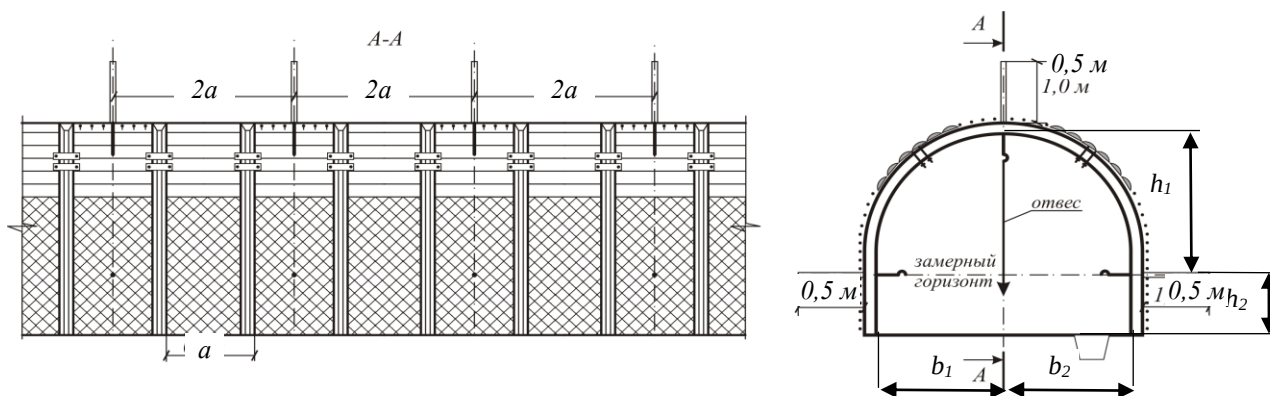


Рис. 15.7. Схема устройства замерных станций с контурными реперами

15.3.2. Оборудование замерных станций глубинными реперами

Для изучения характера деформирования приконтурного породного массива после проведения выработки, в ней должны быть установлены замерные станции, состоящие из глубинных реперов (рис. 15.8). Конструкция глубинного репера якорного типа приведена на рис. 15.9.

Установка замерных станций проводится в следующей последовательности.

С помощью буровой установки производится бурение шпуров (скважин) $\varnothing = 30$ мм, длиной около 7 м.

В качестве репера используется 1,5 (2,5) витка стальной упругой проволоки $\varnothing = 2$ мм (рис. 15.10), прямые концы которой разнесены на размер, превышающий диаметр шпура.

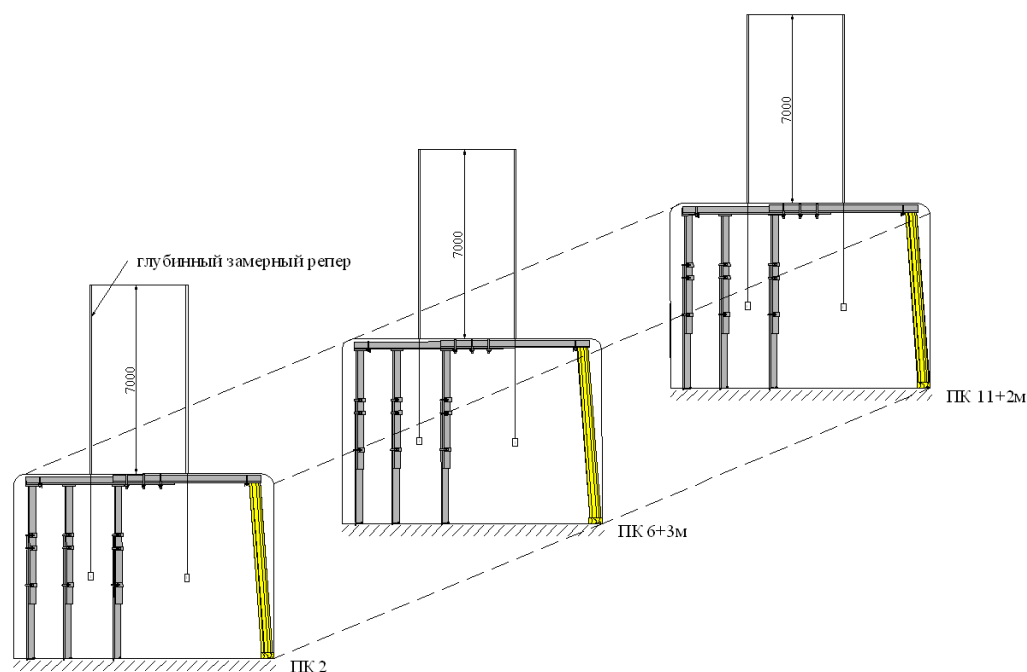


Рис. 15.8. Схема заложения замерных станций в протяженной выработке

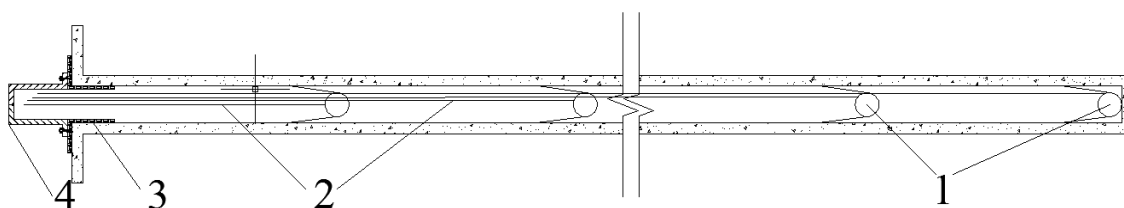


Рис. 15.9. Конструкция глубинной реперной станции якорного типа:
1 – глубинный репер (якорь); 2 – тяги глубинных реперов; 3 – обсадная труба-контур; 4 – кондуктор



Рис. 15.10. Установка якоря
в досыльник

Далее, на якорном репере закрепляется тросик, после чего он устанавливается в специальный паз досыльника (см. рис. 15.10).

Досыльник представляет собой сборный трубчатый стержень, изготовленный из отрезков металлопластиковой трубы $\varnothing = 16$ мм, соединяемых с помощью соединительных муфт $\varnothing = 26$ мм. Длина отрезка трубы с муфтой составляет 104 мм, что с учетом стыковки труб между собой

(– 4 мм), позволяет точно контролировать глубину установки репера.

С помощью досыльника с периодическим наращиванием его длины путем подсоединения необходимого количества отрезков металлопластиковой трубы, якорный репер устанавливается на требуемую глубину (рис. 15.11).

Глубина установки контролируется по числу отрезков досыльника и отметкам на них.

После установки каждого глубинного репера на его тросике закрепляется пластиковая бирка с соответствующим номером (рис. 15.12). Номер репера и глубина его установки сразу же заносится в ведомость.

По окончании установки всех реперов на глубинах: 7 м, 6 м, 5 м, 4 м, 3 м, 2 м, 1 м и 0.5 м, производится первый замер. Для этого измеряется разница между концом тросика от первого глубинного репера, положение которого считается неизменным в течение всего времени измерений, и концами тросиков от остальных реперов (рис. 5.13).



Рис. 15.11. Установка якоря в скважину



Рис. 5.12. Установка бирки

Для удобства снятия замеров, длина тросика первого репера сделана наибольшей. После занесения замеров в ведомость, все концы тросиков собираются в один пучок и фиксируются в верхней части выработки, во избежание внешних воздействий на них.

Каждый последующий замер выполняется в

той же последовательности, что и первичный.



Рис. 15.13. Проведение первого замера

15.3.3. Датчик смещения пород кровли

Широкое использование анкерной крепи потребовало простых и надежных способов контроля смещений контура выработок, закрепленной анкерными системами. Таким средством контроля является датчик смещения пород кровли Tell Tells (Telltale). Данное контрольное устройство представляет собой двухуровневый индикатор безопасности, используемый в шпурах диаметром от 27 до 55 мм. Он состоит из двух крепежных устройств (рис. 15.14), соединенных с соответствующими индикаторами «А» и «В» с помощью троса и контрольной трубки (двух видов – для обводненных и сухих пород) (рис. 15.15).

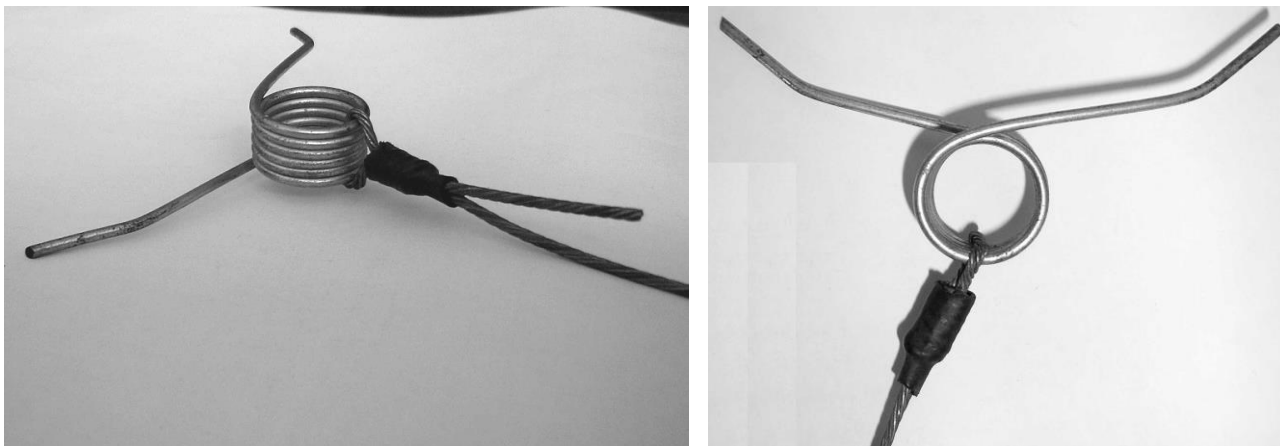


Рис. 15.14. Крепежное устройство датчика смещения Tell Tells (Telldata)

Для установки датчика необходимо:

- пробурить шпур соответствующего диаметра на глубину не менее 4,8 м или на двойную глубину анкера (если длина применяемых анкеров более 2,4 м);
- установить крепежное устройство верхнего индикатора (индикатор меньшего размера «В») в донную часть шпура с помощью специальной досылочной штанги. Проверить надежность крепления крепежного устройства, измерить высоту установки;
- установить крепежное устройство нижнего индикатора (индикатор большего размера «А») на 0,3 м ниже глубины закрепления анкера и измерить высоту установки;
- установить верхнюю часть индикатора «А» (зеленая полоса) на одном уровне с нижней гранью контрольной трубки. Совместить шкалу. Зафиксировать индикатор в данном положении, обжав с помощью плоскогубцев зажим на тросе;
- установить верхнюю часть индикатора «В» (зеленая полоса) на одном уровне с нижней гранью индикатора «А». Совместить шкалу. Зафиксировать индикатор в данном положении, обжав с помощью плоскогубцев зажим на тросе;
- зарегистрировать в журнале следующие данные: положение шпура (привязка по протяженности выработки и положение по сечению выработки), дату и время установки, высоту расположения крепежных устройств, показания индикаторов.

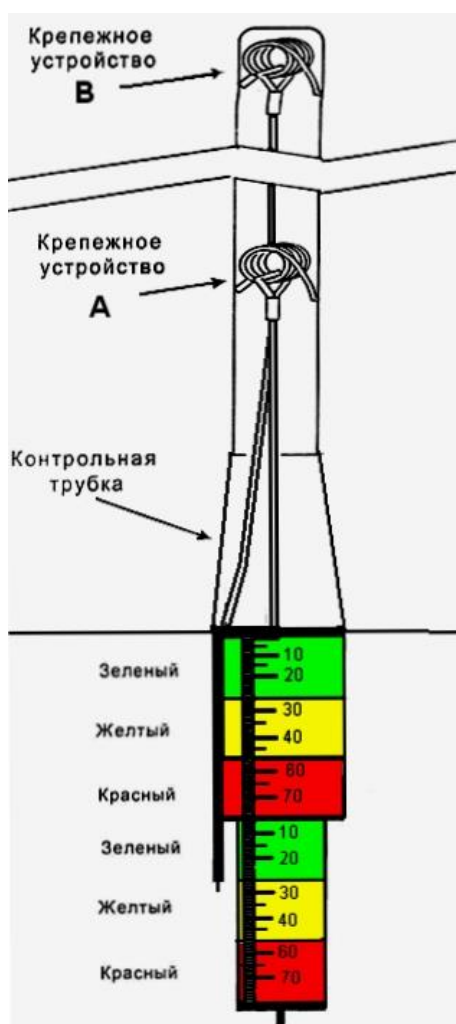


Рис. 15.15. Схема монтажа двухгоризонтного индикатора безопасности

Определение смещений выполняется в следующем порядке.

Фиксируются показания индикатора, подбирая контрольные отметки для каждого крепежного устройства:

- контрольная отметка для индикатора «А» — нижняя часть контрольной трубки;
- контрольная отметка для индикатора «В» — нижняя часть индикатора «А».

Шкала имеет миллиметровое деление с отметками сантиметров. Например: «А» = 12 мм, «В» = 31 мм.

- Перемещение индикатора «А» по отношению к контрольной трубке соответствует смещению пород кровли на высоте закрепления анкера.
- Перемещение индикатора «В» по отношению к контрольной отметке (нижняя часть индикатора «А») соответствует смещению пород кровли на высоте между закрепленной частью анкера и верхним крепежным устройством.

- Полное смещение массива пород кровли соответствует сумме отсчетов «А» и «В».
- Смещение пород кровли находящихся выше крепежного устройства индикатора «В» не определяется.

Контроль смещения пород кровли по цветовым индикаторам датчика проводится следующим образом. Фиксируется информация о положении цветовых полос индикаторов, видимых полностью или частично (каждый индикатор имеет три полосы зеленую – 0...25 мм, желтую – 25...50 мм, красную – 50...75 мм).

Например: «А»: $\frac{1}{2}$ зеленой, желтая, красная; «В»: $\frac{3}{4}$ желтой, красная

15.4. Измерение нагрузки на крепь горных выработок

Исследования взаимодействия крепи горных выработок с породным массивом проводятся, прежде всего, с целью проверки аналитических решений, сбора и обобщения данных измерений для разработки нормативных документов, предназначенных для проектирования подземных сооружений, а также последующего уточнения рациональных параметров установленной крепи.

Для измерения нагрузки на крепь используют прямые и косвенные методы.

Прямые методы основаны на применении специальных динамометрических устройств. При этом прибор может располагаться либо между крепью и породным контуром, либо входить в конструкцию так называемой динамометрической крепи.

Косвенные методы предполагают измерение величин, которые функционально связаны с нагрузкой, например, это может быть измерение кривизны элементов металлической крепи [104] или статистическая оценка состояния выработки, в которой установлена крепь с известными параметрами [38, 223].

15.4.1. Прямые методы измерения нагрузки на крепь

Величина нагрузки на крепь зависит от степени ее жесткости: чем жестче крепь, тем выше в одних и тех же условиях действующая на нее нагрузка. При установке динамометра на крепь образуется искусственная система «крепь-динамометр-порода», которая отличается от естественной «крепь-порода» наличием дополнительного элемента -

динамометра. В этой связи жесткость динамометра должна быть такой, чтобы его присутствие не сильно сказывалось на жесткости изучаемой системы.

В общем случае для любого заданного значения реакции сопротивление крепи и произвольных силовых характеристик прибора и крепи жесткость системы «крепь-динамометр» определяется по уравнению

$$K_i = \frac{f(x_{gi})\varphi(x_{ki})}{f(x_{gi}) + \varphi(x_{ki})}, \quad (15.2)$$

где x_{gi} и x_{ki} - величины смещений соответственно динамометра и крепи при нагрузке P_i . В случае линейных силовых характеристик динамометра и крепи жесткость системы будет определяться по формуле

$$K_c = \frac{K_g K_k}{K_g + K_k} = \frac{K_k}{1 + \frac{K_k}{K_g}} \quad (15.3)$$

где K_g и K_k - жесткость соответственно динамометра и крепи, определяемая как тангенс угла наклона на графике зависимости нагрузки P_{ik} от величины смещений: ($K_i = \frac{P_i}{U_i}$).

Величина, обратная жесткости, называется податливостью системы:

$$L_c = K_c^{-1}. \quad (15.4)$$

Анализ выражения (15.3) показывает, что для того, чтобы величина жесткости динамометра была бы достаточно мала, а жесткость системы, примерно, равна жесткости крепи, следует принимать жесткость динамометра значительно выше жесткости крепи (раз в 10 и более).

Погрешность измерения нагрузки при использовании динамометров зависит от геометрических параметров крепи и динамометра, а также от величины их относительных деформаций. В случае размещения динамометра под стойкой крепи погрешность измерения определяется из выражения

$$\delta = \frac{h_g(\varepsilon_g - \varepsilon_c)}{h_g\varepsilon_g + h_c\varepsilon_c}, \quad (15.5)$$

где h_g и h_c - соответственно высота динамометра и стойки; ε_g и ε_c - относительные деформации динамометра и стойки.

Динамометры, применяемые при исследовании горного давления, в зависимости от используемого в них чувствительного элемента делятся на механические, гидравлические, электрические, магнитоупругие и фотоупругие. Основное применение имеют первые три типа [221].

Принцип действия механических динамометров основан на измерении упругих деформаций мембраны, возникающих под влиянием приложенных нагрузок. Деформации чаще всего измеряются индикатором часового типа. Способ отсчета может быть непосредственным или с помощью самопишущих устройств. На рис. 15.16 изображен механический динамометр 50Д-180.

Давление на мембрану 1 передается через располагающуюся над ней верхнюю опору 2. Под нагрузкой мембрана прогибается вниз, сжимая пружину 3. Величина перемещений, увеличенная в несколько раз с помощью рычага 4, снабженного возвратной пружиной 5, фиксируется под отверстием 6. Для определения величины перемещений конца рычага в отверстие вставляется измерительный стержень индикатора часового типа, цена деления которого 0,01 мм, ход-10 мм. Начальный отсчет можно

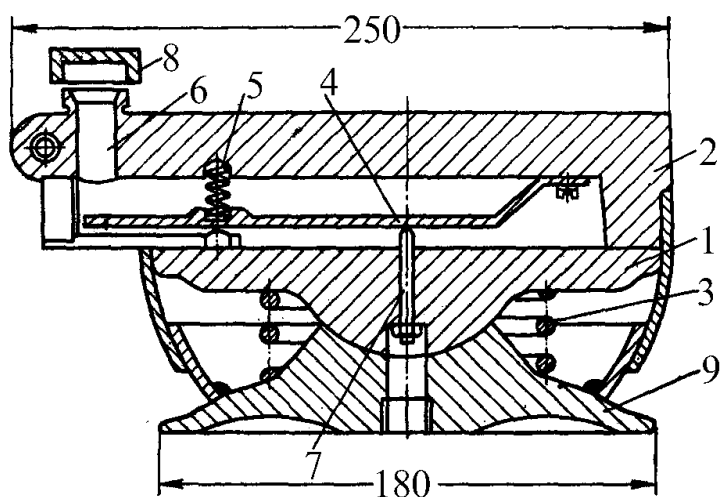


Рис. 15.16. Механический динамометр 50Д-180

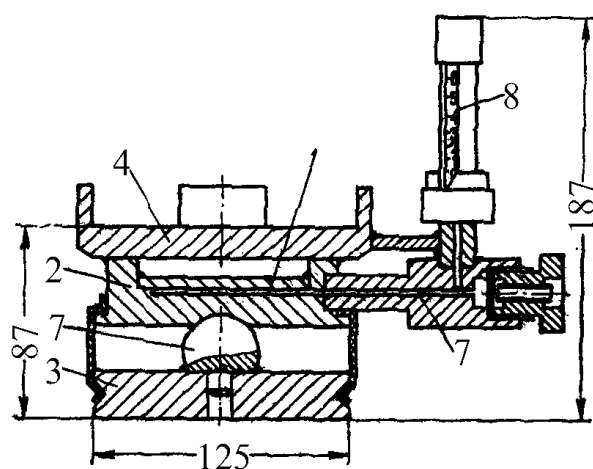


Рис. 15.17 Гидравлический динамометр ГСД-6

регулировать винтом 7. Отверстие в нерабочем состоянии закрывается колпачком 8. Весь динамометр смонтирован на массивном основании 9.

Характеристика рассмотренного динамометра следующая: рабочая нагрузка 500 кН, ход рычага 6-7 мм, точность показаний 5 кН, масса 9,5 кг.

Принцип действия гидравлических динамометров ГСД-6 (рис. 15.17) основан на свойстве несжимаемости жидкости (ртути, глицерина или масла). Жидкость помещается в полость 1, образуемую стаканом 2. Под давлением на опоры 3 и 4 стакан деформируется и жидкость через канал 5 выдавливается в измерительную трубку 6. Влияние момента сил, распределенных по опорам, исключается шаровой пятой 7.

Гидравлические динамометры обладают простотой устройства и большой прочностью.

На рис. 15.18 изображен стоечный динамометр ДСС-50. В его корпусе 1 смонтирован струнный датчик 2 и вызывная катушка 3. Измеряемая нагрузка, прикладываемая к опорной крышке 4 и основанию 5, передается струне через опорный шарик 6. Канатик 7 служит ручкой для переноски. Предельная нагрузка такого динамометра составляет 500 кН.

Динамометрические крепы являются основой измерительных станций. Они устанавливаются в выработках сразу же после подвигания забоя выработки. По принципу действия измерительных устройств различают следующие виды динамометрических крепей:

- с применением рабочих элементов крепы;
- оснащенные по периметру крепы группой динамометров;
- с применением специально приспособленных элементов крепы для измерения нагрузок с помощью динамометров или динамометрических баллонов.

-

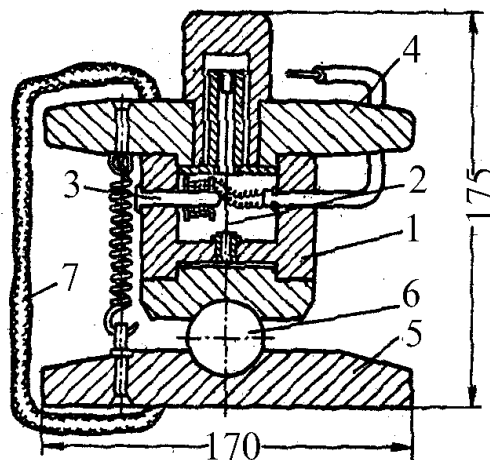


Рис. 15.18. Стоечный динамометр ДСС-50

Конструкции динамометрической крепи, устанавливаемой в вертикальных стволах и горизонтальных выработках, являются различными.

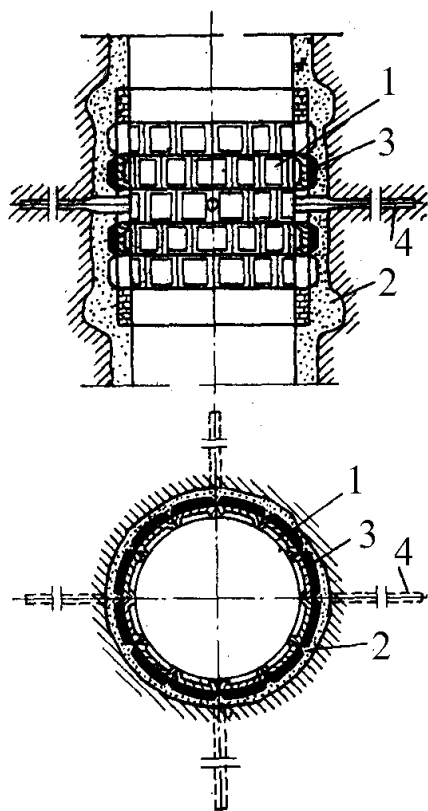


Рис.15.19. Схема измерительной станции

В стволах, сооружаемых обычным способом, применяется динамометрическая крепь, которая состоит из тубинговых сегментов 1, являющихся несущей частью крепи, гидравлических баллонов 2 и измерительной аппаратуры (рис. 15.19).

Закрепное пространство, для обеспечения плотного контакта крепи с породным контуром, заполняется цементно-песчаным раствором.

Давление на крепь воспринимается гидравлическими баллонами, жестко связанными с динамометрическими сегментами и несущими элементами крепи. Гидравлический баллон представляет собой герметиче-

скую сварную стальную коробку, внешняя поверхность которой выполнена в виде гибкой мембраны. Под действием давления со стороны породного массива мембрана прогибается, нагрузка воспринимается вязким заполнителем (например, битумом) баллона и передается на мембрану динамометра, установленного на сегменте крепи. Для измерения продольных и поперечных деформаций сегментов на них устанавливаются тензометры. Для работы в режиме регулируемой податливости гидравлические баллоны снабжены специальными клапанами податливости, позволяющими выпускать из них часть вязкого заполнителя. Число колец динамометрической крепи зависит от типа решаемых задач и характера (крепости) вмещающих пород.

Пример конструкции измерительной станции в горизонтальной выработке при жесткой кольцевой крепи представлен на рис. 15.20 [12].

Измерительная динамометрическая станция в горизонтальной выработке состоит из кольцевой крепи 1, выполненной из балок двутаврового или специального желобчатого профиля. Вокруг крепи устанавливается 8-10 внешних элементов динамометрической крепи 2 в виде отдельных сегментов из специального желобчатого профиля, поверх которых укладывается железобетонная затяжка 3.

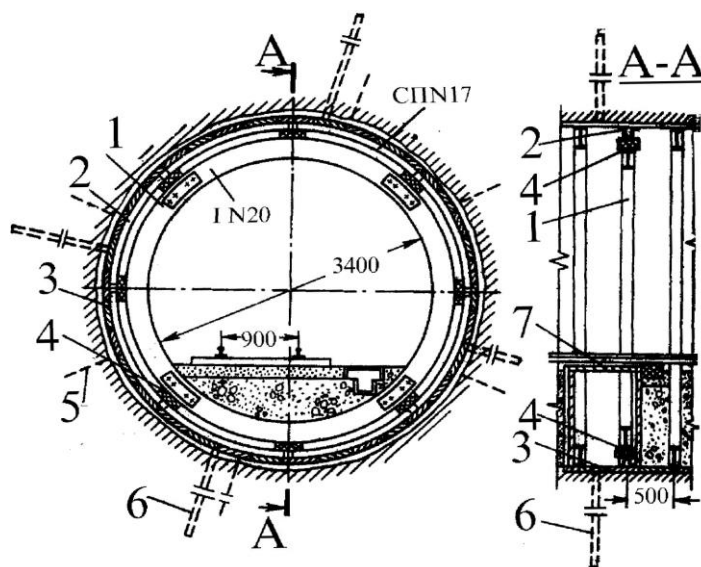


Рис. 15.20. Схема измерительной станции в горизонтальной выработке (по Ю.З. Заславскому)

Между основной крепью и внешними элементами устанавливается 8-10 динамометров 4, над которыми, между затяжкой и породой, забиваются металлические клинья. Динамометрическая крепь возводится попеременно с обычной крепью.

Для определения величин перемещений породного контура станции оборудуются контурными реперами, вставленными в шпур 5 диаметром 42 мм и глубиной около 1 м. Некоторые станции для наблюдений за развитием области неупругих деформаций оборудуются комплектами глубинных реперов, устанавливаемых в скважины 6 диаметром 60 мм и глубиной до 10 м. Измерительные устройства, расположенные под путями и балластом, имеют ограждение 7. Пример использования фотоупругих датчиков для определения нагрузок на перекрытие механизированной крепи показан на рис. 15.21.

Датчики наклеиваются на элементы крепи до момента их установки, т. е. когда крепь не находится в напряженном состоянии. Напряжения измеряются через определенные промежутки времени с помощью портативных полярископов одностороннего действия.

Напряжения определяются по тарировочному графику, построенному на основании экспериментов с образцами из материала исследуе-

мой крепи. Для изучения степени обжатия крепи в выработке используют измерительные стержни.

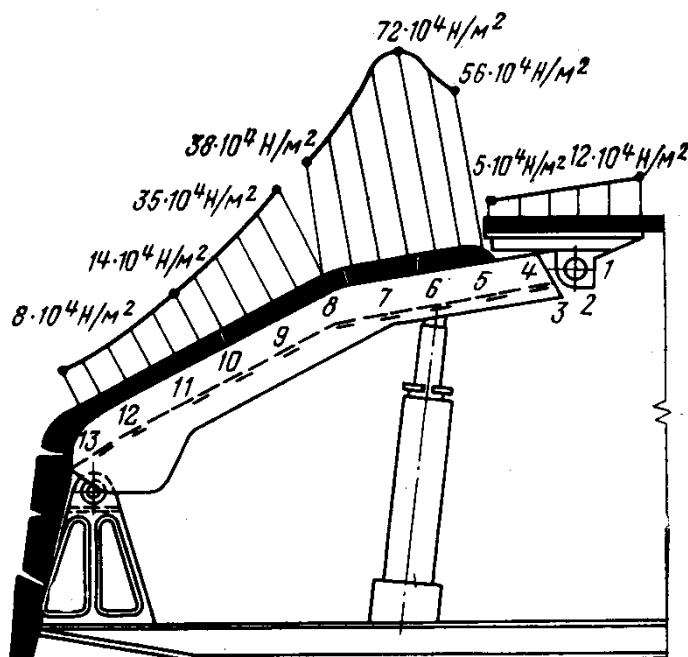


Рис. 15.21. Схема расположения фотоупругих датчиков при измерении нагрузок на крепь и их распределение: 1-13 - номера датчиков

15.4.2 Косвенные методы измерения нагрузки на крепь

В основе определения нагрузки на крепь выработок косвенными методами лежит измерение некоторых величин, которые связаны с искомой опосредованным (неявным) образом. Ниже рассмотрены два достаточно хорошо отработанных метода: один из них основан на измерении упругих деформаций металлической арочной крепи специальными устройствами - деформометрами [104], другой - на использовании статистических закономерностей разрушения крепи в протяженных выработках [222].

Силовое воздействие породного массива (нагрузка) на металлическую крепь вызывает деформацию ее элементов с появлением изгибающих моментов. Деформация арки в произвольной точке в свою очередь связана с изменением кривизны в этой же точке. Таким образом, изменение кривизны в фиксированной точке деформированной металлической арки функционально связана с нагрузкой, распределенной по контуру арки.

Кривизна арки измеряется при помощи кривизномера, который представляет собой платформу 1 с базой 100 мм, на которой укреплен индикатор часового типа 2 с ценой деления 0,001 (рис. 15.22,а).

Измерения проводятся в следующей последовательности.

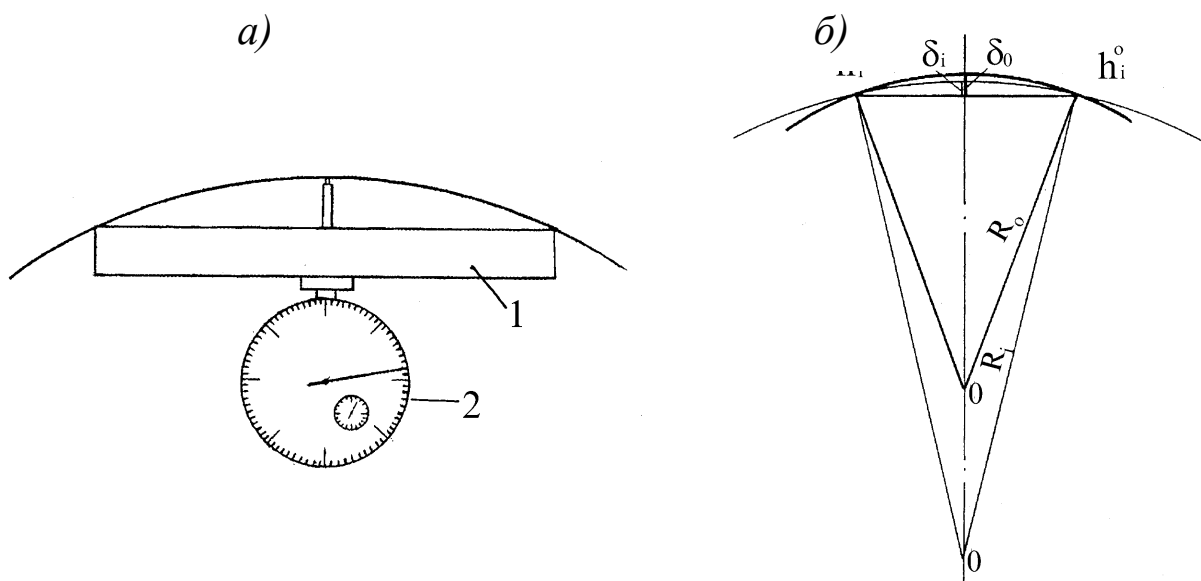


Рис. 15.22. Схема измерения нагрузки с помощью кривизномера:

- а) - общий вид кривизномера: 1 - платформа; 2 - индикатор часового типа,
б) схема к определению деформаций крепи

В подлежащей обследованию выработке выбирается участок из нескольких рам в достаточной степени обжатых горным давлением, но не имеющих пластических деформаций. На внутренней поверхности арки фиксируются точки, расположенные на расстоянии 400 мм друг от друга. В зависимости от типоразмера крепи количество таких точек равно 20-30. Перед началом измерений, на стадии возведения крепи, определяются начальные значения радиусов кривизны R_i^0 в каждой i -ой точке измерения. Затем в этих же точках с определенной периодичностью производятся замеры кривизны радиуса в фиксированных точках R_i^K и находятся разности:

$$\Delta R_i^K = R_i^0 - R_i^K. \quad (15.6)$$

Каждому изменению кривизны в i -ой точке соответствует изгибающий момент M_{zi} , который определяется по формуле

$$\frac{M_{zi}}{EI} = \frac{1}{R_i^0} - \frac{1}{R_i^K}, \quad (15.7)$$

где E - модуль Юнга материала крепи; I - момент инерции поперечного сечения профиля.

С учетом обозначений, приведенных на рис. 15.17,б, после необходимых преобразований формула для изгибающих моментов окончательно имеет вид

$$\frac{M_{zi}}{EI} = \frac{2}{b^2} (h_i^0 - h_i^k), \quad (15.8)$$

где h_i^0 и h_i^k - соответствующие показания индикатора часового типа в i -ой точке в момент установки крепи ($t = 0$) и по истечении времени ($t = t_i^k$), b - размер базы индикатора.

Величина нагрузки на крепь в i -той точке определяется

$$q_i = \frac{1}{R^2} \Delta M_{zi}. \quad (15.9)$$

Средняя величина нагрузки на крепь равна

$$q = \frac{1}{n} \sum q_i. \quad (15.10)$$

Характерные графики измерений кривизны в контрольных точках по периметру крепи в штреке шахты «Алмазная» ОАО «ДТЭК-Добропольеуголь» приведены на рис. 15.23. Из них следует, что процесс нагружения отдельной арки растянут во времени и имеет выраженный случайный характер.

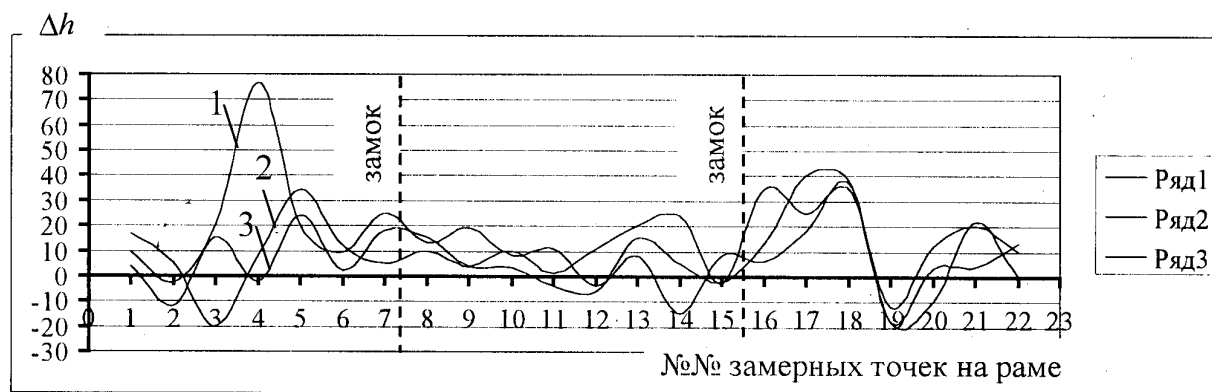


Рис. 15.23. График замеров кривизны в контрольных точках по периметру рамы крепи ПК 112 в 5-м северном коренном штреке ш. «Алмазная»: ряд-1 - третий замер; ряд 2 - первый замер; ряд 3 - второй замер

Другой способ косвенного определения нагрузки на крепь протяженной горизонтальной выработки основан на решении известной

задачи о выбросах случайной функции за заданный уровень [223]. В качестве величины, случайным образом изменяющейся по длине выработки, принят коэффициент устойчивости $K_y(S)$, равный отношению несущей способности крепи (предельной нагрузки) $q_{np}(S)$ к действующей нагрузке $q(S)$:

$$K_y(S) = \frac{q_{np}(S)}{q(S)}. \quad (15.11)$$

Здесь $S = S_i (i = 1, 2, 3, \dots, N)$ - произвольно выбранное сечение выработки или отдельно взятая рама крепи. Выработка теряет устойчивость при условии, что

$$K_y(S) < K_{np},$$

где K_{np} - предельное значение коэффициента устойчивости (с некоторым запасом можно принять $K_{np} = 1$).

На рис. 15.24 показан случайный характер изменения коэффициента устойчивости по длине выработки.

Средняя длина $\overline{S_y}$ пребывания функции $K_y(S)$ выше заданного уровня K_{np} представляет ту часть выработки, которая находится в устойчивом состоянии.

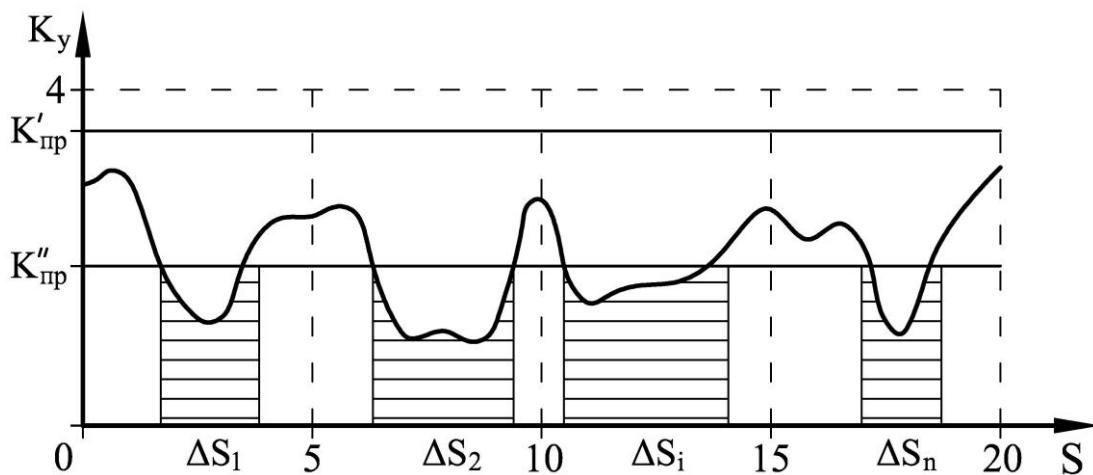


Рис.15.24. Вероятностная модель протяженной горной выработки

Количественной оценкой устойчивости выработки является отношение

$$\omega = \frac{\overline{S_y}}{S}, \quad (15.12)$$

где S - вся длина выработки, при $\omega = 1$ - выработка не имеет разрушений, при $\omega = 0$ - выработка полностью разрушена.

Задача установления общей длительности пребывания случайной функции выше заданного уровня формируется как задача о выбросах. Для стационарных случайных процессов она впервые была решена Д. Райсом [224].

Если предположить, что случайные величины $K_y(S)$ подчиняются нормальному закону распределения, то для вероятностного показателя устойчивости получим следующее выражение

$$\omega = 1 - \Phi\left(\frac{K_{np} - m_k}{\eta_k m_k}\right), \quad (15.13)$$

где $\Phi(x)$ - интегральная функция нормального распределения

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

табулированная в таком виде в работе [225]

$$t = \frac{K_{np} - m_k}{\eta_k m_k},$$

m_k и η_k - соответственно среднее значение и вариация коэффициента устойчивости.

Из выражения (15.13) можно получить формулу для определения средней величины нагрузки на крепь выработки

$$m_q = m_{qnp} \frac{1}{1 + \eta_K \arg \Phi(1 - \omega)}, \quad (15.14)$$

где $\arg \Phi(1 - \omega)$ - аргумент функции $\Phi(x)$ при ее значении, равном $1 - \omega$.

Среднее значение несущей способности крепи равно

$$m_{qnp} = \frac{R_T W}{a^2 f(\lambda_0, K_p, \varphi_{\max})}, \quad (15.15)$$

где R_T - предел текучести стали, W - момент сопротивления поперечного сечения профиля крепи, a - полупролет выработки, $f(\lambda_0, K_p, \varphi_{\max})$ - коэффициент, зависящий от соотношения вертикальной и горизонтальной составляющих нагрузки на крепь (λ_0), конструкции крепи (K_p) и угла, при котором изгибающий момент максимален [226].

Дисперсия коэффициента устойчивости σ_k и вероятностный показатель устойчивости выработки ω несложно определяются на основе натурных измерений [223].

Определим в качестве примера величину средней нагрузки на арочную металлическую крепь главного откаточного штрека шахты № 10 «Великомостовская» ГК «Львовуголь». Выработка закреплена арками из спецпрофиля СВП-27.

Исходные данные: $R_T=300$ МПа, $W=100,2$ см³, $a=1,5$ м, $K_p=0,33$, $\lambda_0=0,55$, $\sigma_k=0,77$, $\omega=0,85$, $N=1,43$ (число рам на 1 м выработки), $f(\lambda_0, K_p, \varphi_{\max})=0,16$ [224]. В соответствии с (15.14) и (15.15) получим $m_q=152$ КПа. Согласно [226], такой нагрузке соответствуют средние горнотехнические условия, приближающиеся к тяжелым, что соответствует действительности.

15.5. Комплексный показатель устойчивости протяжённых горных выработок [227]

Как было показано выше, состояние выработки может быть оценено показателем устойчивости ω , характеризующий в интегральном смысле состояние выработки в целом и определяется как отношение суммарной длины участков выработок, не требующих ремонта S' к полной длине S :

$$\omega = \frac{S'}{S}, \quad (15.16)$$

Величина ω изменяется в пределах от 0 до 1. Выработка полностью устойчива при $\omega = 1$ или полностью разрушена при $\omega = 0$.

В работе [228] установлена зависимость между показателем устойчивости и смещениями контура выработки $\omega(T) = f(u)$, приведенная на рис. 15.25. Очевидно, что смещения контура выработки будут характеризовать эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом.

На глубоких горизонтах шахт, характерным видом деформации контура является пучение пород почвы, что является причиной уменьшения сечения выработок.

Поскольку переменная величина S' устанавливается визуальным обследованием состояния крепи, она обычно не учитывает потерю сечения выработки за счет вертикальной и горизонтальной конвергенции, что при интенсивном, часто несимметричном пучении пород

почвы играет ключевую роль в снижении технологических параметров выработки.

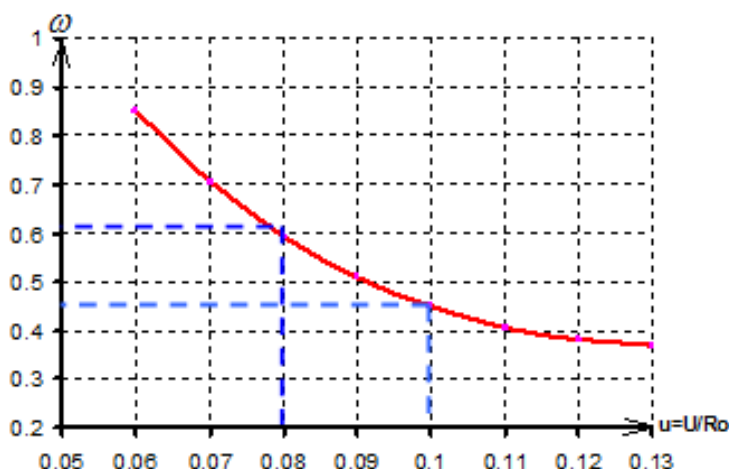


Рис. 15.25. Зависимость показателя устойчивости выработки ω от смещения контура

Так, например, в выработках, где перемещение груза происходит по почве (такой способ откатки используется на большинстве шахт) пучение пород на 20-30 см уже требует проведения ремонтно-восстановительных работ, в то время как крепь остается в относительно устойчивом состоянии.

Кроме того, уменьшение паспортного сечения выработки приводит к нарушению режима вентиляции, водоотлива и в целом создает угрозу для безопасности труда.

В связи с этим, для более полного отражения реальной горно-технической ситуации, имеет смысл оценивать общую устойчивость выработки не только по состоянию крепи, но и по параметру, который будет отражать функциональность выработки по состоянию пород почвы – ω_n .

Для удобства переменная величина ω_n будет определяться аналогичным образом как и для показателя устойчивости выработки по состоянию крепи:

$$\omega_n = \frac{S''}{S} \quad (15.17)$$

где S'' – суммарная длина участков выработки, не требующих устранения последствий пучения пород почвы.

Таким образом, составляющими комплексного показателя устойчивости – K_ω , будут два показателя – показатель устойчивости

выработки по состоянию крепи ω_k и показатель устойчивости выработки по состоянию пород почвы ω_n . При этом $\omega_k = \omega = S'/S$.

Рассмотрим общую устойчивость системы «выработка-массив» с точки зрения вероятности ее надежной работы по двум показателям (по состоянию крепи и по состоянию пород почвы). Тогда, руководствуясь основными положениями теории вероятностей, можно записать следующее.

Существует случайное событие A – «выработка находится в устойчивом состоянии». Вероятность этого события равна K_ω^1 .

Это событие обусловлено двумя дополнительными событиями:

A_1 – «выработка устойчивая по состоянию крепи», вероятность этого события равна ω_k .

A_2 – «выработка устойчивая по состоянию пород почвы», вероятность этого события равна ω_n .

При условии, что эти события независимы по теореме умножения вероятностей событие A по отношению к событию A_1 и A_2 является произведением событий A_1 и A_2 . Подставив в равенство фактические показатели устойчивости ω_k и ω_n имеем:

$$K_\omega^1 = \omega_k \cdot \omega_n$$

Рассмотрим случай, когда выработка устойчива только по одному фактору, т.е. события A_1 и A_2 являются несовместимыми.

Тогда случайное событие A – «выработка устойчива или по фактору крепи, или по фактору пучения пород почвы» по теореме сложения вероятностей является сумма событий A_1 и A_2 .

Вероятность этого события равна K_ω^2 .

Подставив в равенство фактические показатели устойчивости ω_k и ω_n в случае, если рассматривать события A_1 и A_2 как независимые имеем:

$$K_\omega^2 = \omega_k + \omega_n$$

Количественную оценку состояния выработки получим как отношение:

$$K_\omega = \frac{K_\omega^1}{K_\omega^2} = \frac{\omega_k \cdot \omega_n}{\omega_k + \omega_n} \quad (15.18)$$

Для облегчения количественной оценки комплексного показателя устойчивости он адаптирован к привычной, пятибалльной шкале, которая по своей физической сути будет подобна нормативным категориям пород по устойчивости (табл. 15.1). В этом случае комплексный показатель устойчивости будет иметь вид:

$$K_{\omega} = \frac{\omega_{\kappa} \cdot \omega_n}{\omega_{\kappa} + \omega_n} \cdot 10 \quad (15.19)$$

Таблица 15.1

Категория выработок по устойчивости	
Категория	K_{ω}
Устойчивые	5 (от 4 до 5)
Средней устойчивости	4 (от 3 до 4)
Неустойчивые	3 (от 2 до 3)
Сильно неустойчивые	2 (от 1 до 2)
Аварийные / Практически разрушенные	1 (от 0 до 1)

15.6. Оценка напряжений и структурных дефектов в породных массивах методами томографии

При проведении подземных горных выработок, отработке подготовленных запасов полезного ископаемого, строительстве подземных и заглубленных зданий и сооружений чрезвычайно важно иметь текущую информацию о состоянии вмещающих пород. Предварительное знание о распределении напряжений и выявлении мест с аномально высокой их концентрацией, геологических нарушениях, с которыми часто связаны газодинамические проявления, и об иных крупномасштабных дефектах структуры, позволяет применять соответствующие инженерные меры воздействия на породную среду с тем, чтобы ущерб от проведения выработок - подготовительных или очистных - в районе этих дефектов был минимальным.

Одним из таких методов, позволяющих непрерывно «видеть» состояние породного массива впереди проводимой выработки на мониторе компьютера, является метод акустической томографии, разработанный компанией NSA Engineering (Денвер, Колорадо, США) [229].

Эта система геофизического картирования получила название RockVision3d™. Она применяется для томографического отображения в режиме реального времени подповерхностных дефектов, полостей геологических структур, трехмерного распределения напряжений, позволяя диспетчеру получать информацию о потенциальных опасностях, а также быстро и адекватно реагировать на них.

Система компьютерной томографии породных массивов RockVision3d™ состоит из аппаратных средств и программного обеспечения. В качестве источника акустических колебаний служит шум разрушающейся породы (угля) при работе различных механизмов: проходческих и добычных комбайнов, стругов, отбойных молотков и т.п. Акустические колебания, пройдя через структурно неоднородный породный массив, как бы «считывают» информацию о нем и попадают на приемные устройства (геофоны) рис. 15.26.

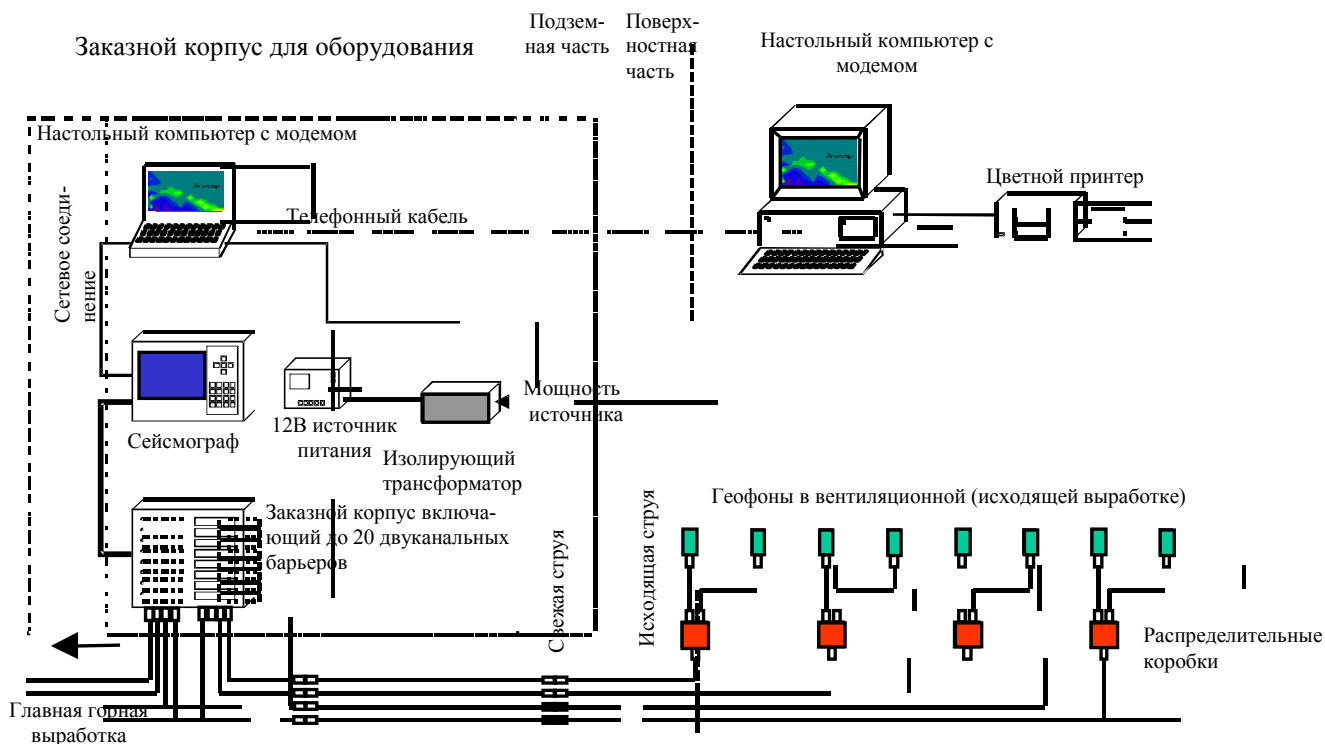


Рис. 15.26. Расположение системы RockVision3d™

Затем они регистрируются сейсмографом и по кабелю через модем передаются на системный блок компьютера, который располагается либо под землей, либо на поверхности. Подземная аппаратурная часть томографического комплекса имеет взрывобезопасное исполнение. Обработанная информация распечатывается на цветном принтере в виде трехмерных геофизических карт, легко поддающихся интерпретации.

Физическая часть метода подземной томографии заключается в следующем. Акустический сигнал от источника распространяется в идеальной породной среде по прямым линиям рис. 15.27,а. При этом имеет место определенная скорость его прохождения и затухания

энергии, обусловленные упругими константами среды. В неоднородной среде присутствуют различного рода структурные дефекты, которые имеют отличающиеся упругие свойства.

Путь акустического сигнала между источником и приемником искривляется в зависимости от дифференцирования его скорости и затухания в породном массиве, как показано на рис. 15.27,б.

В этой связи известны два достаточно близких подхода, на которых основываются томографические методы:

- анализ скорости прохождения акустического сигнала;
- анализ его затухания.

Система RockVision3d™ основана на анализе затухания поступающих к приемнику сигналов.

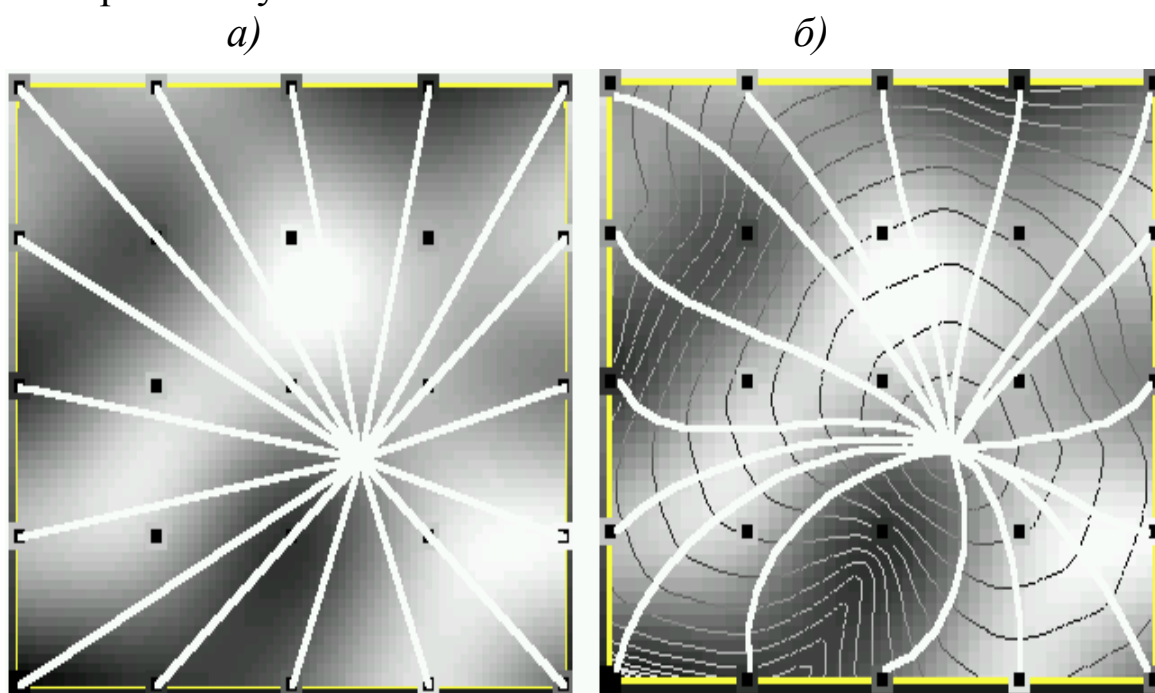


Рис. 15.27. Сетка скорости, оценивающая для сравнения однородную (а) и неоднородную (б) среды

По мере перемещения источника сигнала (комбайн, струг) через каждую точку исследуемой области проходит огромное количество акустических сигналов, каждый из которых имеет свою величину затухания, что объясняется разными путями и условиями его прохождения. Эти сигналы обрабатываются с помощью очень сложного томографического кода программного обеспечения. Результаты обработки множества данных кодируются с помощью цветов различной окраски и выводятся либо на экран монитора, либо на цветной принтер рис. 15.28.

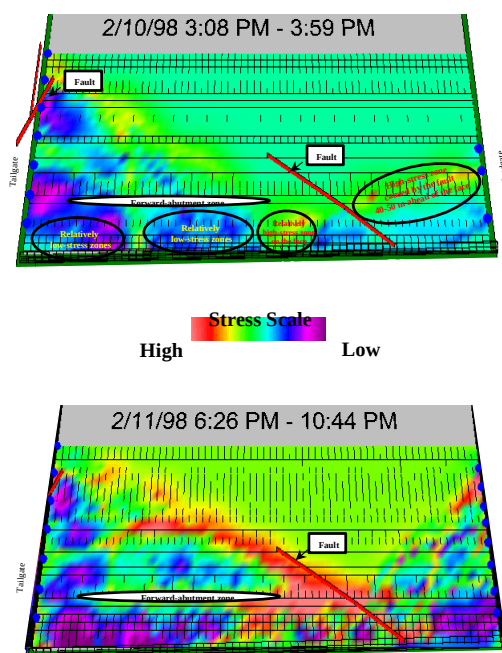


Рис. 15.28. Изображение разлома передней границы

Если по мере перемещения добычного механизма выявленные неоднородности не меняют конфигурации и места расположения, то они оцениваются как структурные (геологические) нарушения; если же неоднородности мигрируют, меняя цвет, то это места концентрации напряжений, места потенциальных динамических проявлений горного давления.

К сожалению, система подземной томографии RockVision3d™ не позволяет пока получить конкретное численное значение напряжений и степень их опасности с точки зрения разрушения породного массива. Работы в этом направлении сотрудниками фирмы ведутся.

15.7. Контроль состояния породной среды при подземном строительстве с помощью георадаров

В начале 60-х годов в СССР и США были разработаны георадиолокаторы (в настоящее время их называют просто георадарами) для подповерхностного зондирования. Эти приборы представляют собой радиолокаторы для обнаружения неоднородностей в грунте, торфе, кирпичной кладке, бетоне, скальных породах и других непрозрачных средах. С появлением георадара начала воплощаться старая мечта всех кладиоискателей. Но в силу совершенно новых возможностей, которые георадар дает человеку, он быстро завоевал популярность у

строителей, геологов, изыскателей. Прежде чем говорить об использовании георадара при проходке тоннелей, кратко рассмотрим их возможности [230].

Первые георадары (и некоторые модификации современных), для которых основным измеряемым параметром являлась амплитуда сигнала, отраженного объектом, по основным параметрам почти не отличались от металлоискателей. Такие приборы плохо измеряют глубину расположения предмета, а определяют только точку на площадке, под которой находится объект. Максимальная глубина обнаружения сравнима с размером антенны D прибора и увеличивается при увеличении размеров предмета. Когда размеры предмета велики (заметно больше D), то глубина обнаружения может достигать $(2\div 3)D$. Единственное преимущество таких георадаров – возможность обнаружения не только металлических, но и диэлектрических объектов, диэлектрическая проницаемость которых отличается от проницаемости среды, в которой расположен объект.

В дальнейшем появились георадары, способные определять глубину скрытого в грунте (или другой среде) объекта, а в некоторых случаях и его геометрические размеры и форму. Эти новые возможности значительно расширили области использования георадаров и круг их потенциальных потребителей. Каковы же предельные возможности современных георадаров? От чего они зависят?

В классической радиолокации максимальная дальность обнаружения цели связана с затуханием сигнала за счет сферической расходимости излучаемых электромагнитных волн. В георадиолокации максимальная глубина (дальность) обнаружения объекта определяется как упомянутой расходимостью потока радиоволн, так и потерями в среде зондирования, то есть затуханием электромагнитных волн в ней. Потери эти велики и к тому же зависят от частоты излучаемого сигнала и электрических параметров среды. Например, в диапазоне УКВ потери в грунтах увеличиваются, приблизительно, пропорционально частоте и влажности. Чтобы обойтись без формул, определяющих эти зависимости, приведем таблицу максимальных глубин обнаружения из описания одного из самых популярных георадаров SIR-3000 фирмы GSSI (табл. 15.2).

Основные технические характеристики георадара SIR-3000

Система	
Антенны	Совместим со всеми антеннами GSSI: 16-80 МГц, 100 МГц, 200 МГц, 270 МГц, 400 МГц, 900 МГц, 1600 МГц, 2000 МГц, 2600 МГц
Число каналов	1 (один)
Хранение данных	Встроенная память: флеш-карта 2 Гб, Порт CompactFlash: соответствует промышленному стандарту CompactFlash 2 Гб (файловая система FAT 16)
Дисплей	Улучшенный TFT дисплей с диагональю 8,4 дюйма, разрешение 800х600, 64 000 цветов
Режимы дисплея	Строчная развертка, осциллографический, трехмерный
Сбор данных	
Формат данных	RADAN (.dzt)
Скорость записи	220 сканирований/с при разрешении 256 точек (разрядность 16 бит); 120 сканирований/сек при разрешении 512 точек
Интервал записи	По выбору пользователя
Разрешение по вертикали	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192
Режимы съемки	Свободный прогон, одометр, точечный
Диапазон длительности приема отраженного сигнала	0-8000 нс, по выбору пользователя Усиление: ручное или автоматическое, от 1-5 точек усиления (от -20 до +80 дБ)
Фильтры	Вертикальные: низко- и высокочастотные, IIR (асимптотические) или FIR (конечные) Горизонтальные: усреднение, удаление фона
Диапазон передачи	До 100 кГц
Языки интерфейса	
Английский, французский, итальянский, немецкий, испанский, японский, китайский	
Эксплуатационные характеристики	
Рабочая температура	от -10°C до 40°C
Габаритно-массовые характеристики	
Габариты	31,5 (Д) x 22 (Ш) x 10,5 (В) см (12,4 x 8,7 x 4,1 дюйма)
Вес	4,1 кг (9 фунтов) с аккумулятором
Защита от условий окружающей среды	Влагозащита
Производитель	Geophysical Survey Systems, Inc., США

Наименьшие значения глубины обнаружения неоднородностей относятся к средам с большими потерями (глине и т.п. при высокой влажности), наибольшее значения – к средам с минимальным содержанием влаги (сухой песок, известняк, гранит и т.п.). Глубина обнаружения в конкретной среде уменьшается при увеличении влажности среды, увеличении содержания солей и глины в грунте, увеличении средней частоты передатчика и увеличивается при уменьшении средней частоты, увеличении мощности передатчика, улучшении чувствительности приемника.

При обнаружении цилиндрических объектов в диапазоне частот 300-600 МГц, например, металлических труб, уверенная регистрация в диапазоне глубин 0-3 м возможна, если диаметр трубы возрастет на 8-10 см на каждый метр глубины. В более низкочастотном диапазоне 100-250 МГц и глубинах более 3 м диаметр металлической трубы для уверенного обнаружения возрастет на 30-50 см на каждый метр глубины.

Диэлектрические неоднородности (пустоты, крупные валуны, полости, заполненные водой и т.п.) обнаруживаются хуже и только при наличии достаточного контраста диэлектрической проницаемости объекта и окружающей среды $\varepsilon_1 / \varepsilon_2 > 1,2 \div 1,5$.

Казалось бы, в этих условиях выгоднее всего использовать низкочастотный диапазон, где глубина обнаружения наибольшая. Однако с увеличением длины волны передатчика (понижением частоты) ухудшается разрешающая способность по глубине и увеличивается погрешность определения координат объекта. Реально разрешающая способность по глубине в лучшем случае (малые потери) составляет 207 % от максимальной глубины, а в худшем случае (сильно увлажненный грунт с большими потерями) - составляет 10-25 % от нее. Этим георадар, работающий в поглощающих средах, принципиально отличается от классического радиолокатора, у которого можно получить почти любое сколь угодно малое разрешение по дальности при увеличении рабочей частоты и без уменьшения дальности обнаружения. Таким образом, разрешающая способность георадара по глубине ухудшается с увеличением глубины в 1,5-2,0 раза и более. И чем больше максимальная глубина зондирования, тем хуже разрешающая способность и погрешность определения координат объекта (см. табл. 15.2).

Если классический радиолокатор определяет направление на объект, сканируя лучом в пространстве (режим поиска цели), то для об-

наружения объекта с помощью георадара необходимо провести регистрацию сигналов в большом числе точек поверхности, по которой перемещаются его антенны. Погрешность определения координат объекта вдоль направления перемещения δ_x несколько хуже разрешения по глубине. Для надежной привязки объекта необходимо, чтобы отрезок перемещения георадара был приблизительно равен ожидаемой глубине объекта, а число зарегистрированных сигналов велико (5-10 и более). Погрешность определения координат в поперечном направлении δ_y зависит от числа «дорожек», а точнее от разнесения крайних «дорожек» перемещения георадара; причем оптимальное разнесение должно быть порядка ожидаемой глубины объекта. В этом случае погрешности δ_x и δ_y приблизительно равны.

Значительный прогресс в георадиолокации связан с использованием вычислительной техники для обработки сигналов. В современных георадарах компьютер используется для управления его работой, записи сигналов в цифровой форме, проведения обработки на разных уровнях и, наконец, для визуализации изображений объектов. Именно использование компьютеров и оптимизации радиотехнической части позволяют получить приведенные в табл. 15.2 значения максимальных глубин обнаружения и разрешающей способности. При этом используются самые современные типы сигналов (ультракороткие импульсы, сигналы со сверхбольшой базой), уникальные сверхширокополосные антенны, самые современные элементная база и схемотехника. Например, использование ультракоротких импульсов с шириной спектра более октавы и соответствующих сверхширокополосных антенн позволяет не только локализовать объекты, но и по фазе отраженного импульса определить, обладает ли объект большей или меньшей диэлектрической проницаемостью, чем включающая среда (грунт). Это не значит, что мы можем измерить по результатам зондирования электрические параметры вещества объектов, необходимые для их идентификации, но эта информация очень важна для установления типа объекта: полость ли это в грунте, водяная линза или валун. При обнаружении слоев в некоторых случаях возможно измерение диэлектрической проницаемости этого слоя и достаточно точное определение его материала.

Работа георадара в тоннеле или в другом замкнутом объеме в непосредственной близости от торцевой цилиндрической части щита и механизмов накладывает дополнительные требования к антеннам. В

большинстве отечественных и зарубежных георадаров используются дипольные антенны. При этом значительная часть мощности излучается в верхнее полупространство, то есть внутрь щита. Отраженная от его деталей и механизмов волна создает сильные помехи, которые при обработке дают ложные объекты.

Использование щелевых (экранированных сверху) антенн дает резкое снижение излучения над поверхностью грунта и уменьшение уровня помех. При том же энергетическом потенциале георадар с такими антеннами имеет большую глубину зондирования и более высокую достоверность получаемых результатов. При создании тоннелей с использованием проходческого щита КЩ-12 или аналогичных ему возникает необходимость упреждающего обнаружения с поверхности торца забоя неоднородностей грунта (крупных валунов, водяных линз, карстовых полостей) в направлении проходки. Кроме того, в готовой части тоннеля (цилиндрический канал с внешним диаметром 4 м, укрепленный слоем специального бетона толщиной около 30 см без арматуры) необходим также контроль как качества бетонного слоя, так и наличия водяных линз и карстовых полостей на периферии цилиндрической части. Особую опасность представляют крупные полости под телом тоннеля.

Георадарный контроль должен выполняться на расстоянии 2-4 м перед торцом забоя и на расстоянии 1-2 м на периферии цилиндрической части. Локализация валунов (или хвостов свай при небольшой глубине проходки) позволяет избежать повреждения механизмов для выборки грунта. Водяные линзы и карстовые полости, заполненные водой, на пути прокладки тоннеля могут служить причинами затопления и крупных аварий с человеческими жертвами. Карстовые полости (пустоты) опасны нарушением несущей способности грунта, особенно находясь под телом тоннеля.

При проходке щитами, у которых в процессе работы имеется доступ к торцу выборки грунта, возможно реализовать упреждающее обнаружение неоднородностей. Это осуществимо, например, посредством радиозондирования в направлении проходки (в торце забоя), а также в готовой части тоннеля по его периферии. Для требуемой глубины обнаружения наиболее приемлем диапазон УКВ. Причем следует использовать низкочастотную часть диапазона - 100 - 300 МГц, а возможно и ниже, в зависимости от характеристик грунтов, их влажности и величины поглощения. Для периферийного зондирования в готовой части тоннеля, учитывая меньшую требуемую глубину обна-

ружения, следует сдвинуть этот диапазон вверх в 1,5-2 раза, что одновременно улучшит пространственное разрешение и точность локализации неоднородностей. Для контроля качества бетона стенок тоннеля следует выбрать еще более высокочастотный диапазон в полосе 1-5 ГГц.

Одновременное решение всех трех задач с помощью единого блока аппаратуры практически нереально. Первые две задачи могут быть решены одним блоком аппаратуры и антенн, хотя лучшие результаты могут быть получены при использовании общего приемно-передающего блока с двумя блоками антенн соответствующих диапазонов. Для третьей задачи необходимо совершенно другое техническое решение как для приемника и передатчика, так и для антенн.

В странах СНГ отсутствуют подобные варианты георадаров, предназначенные для работы в тоннелях. За рубежом имеется тоннельный георадар, специально разработанный для работы с роторным проходческим щитом (его антенны смонтированы в окнах торцевой части щита) японской фирмой «Toda Radar System». Дальность его зондирования 2-3 м. К сожалению, он не может быть использован для работы в открытой части забоя без существенных доработок.

Основным отличием тоннельного георадара от аналогов зарубежных и российских фирм того же диапазона частот является использование не дипольных, а щелевых антенн. Передающие дипольные антенны обладают значительно более высоким уровнем излучения в верхнее полупространство, когда они лежат на грунте, чем щелевые антенны. Приемные диполи также более чувствительны к сигналам верхнего полупространства. Поэтому, когда георадар с дипольными антеннами работает в замкнутом объеме с размерами в единицы метров, то благодаря этим свойствам возникает множество помех, обусловленных отражениями от стенок объема.

Щелевые антенны подавляют эти помехи более чем на порядок. Тоннельные георадары, используемые ЗАО «Геологоразведка», имеют именно щелевые антенны, разработанные под руководством Ю.И. Лещанского. Их высокие качества подтвердились при работе в Северо-Муйском тоннеле БАМа (1984 г.), тоннеле метро Днепропетровска (1987 г.) и в тоннелях Москвы (1986- 1998 гг.).

15.8. Изучение процессов сдвижения породного массива при подземной добыче полезных ископаемых

Основными параметрами процесса сдвижения массива горных пород под влиянием подземных разработок, как было показано выше, являются абсолютные и относительные величины оседания поверхности (вертикальные и горизонтальные деформации), углы сдвижения, скорости оседания, длительность процесса сдвижения.

Изучение сдвижений вышележащей толщи пород производят с помощью стационарных наблюдательных станций, глубинных реперов и геофизических скважинных методов.

Стационарные наблюдательные станции представляют собой систему закрепленных точек (реперов), заложенных в массиве или различных сооружениях. С помощью этой системы реперов ведут наблюдения за земной поверхностью. Различают следующие типы наблюдательных станций:

- долговременные, закладываемые с целью изучения основных параметров сдвижения земной поверхности в течении нескольких (не менее трех лет), при выемке полезного ископаемого на нескольких горизонтах;
- рядовые, закладываемые для наблюдений на период от одного до трех лет при выемке полезного ископаемого на одном горизонте;
- кратковременные, закладываемые для изучения отдельных параметров сдвижения земной поверхности в течении 1-5 месяцев при ведении горных работ на глубине до 250 м;
- специальные, закладываемые с целью детального изучения локальных сдвижений массива горных пород или деформаций поверхностных сооружений.

Выбор места наблюдательных станций определяется положением горных работ и задач исследования. Для наблюдений выбирается участок ровной малозастроенной местности, расположенный вдали от дорог и подъездных железнодорожных путей. На наблюдательных станциях устанавливают серию рабочих реперов. Расстояние между рабочими реперами выбирается в зависимости от глубины разработки, например, при глубине ведения горных работ 300-400 м это расстояние равно 25 м, при глубине 400 м-30 м.

Конструкция реперов должна отвечать следующим требованиям: долговечности, удобства установки и выполнения измерений, достаточно низкой стоимости. Реперы, устанавливаемые на долговремен-

ных и рядовых станциях, представляют собой забетонированные металлические трубы, штыри и отрезки рельсов. Закладываются реперы на глубину ниже границы промерзания.

Привязка опорных реперов производится к существующей опорной сети, интервал времени измерений выбирают в зависимости от задач исследований и интенсивности происходящего процесса сдвижения. Обычно измерения делают один-три раза в месяц. На рис.

15.29 показана одна из схем дистанционных наблюдений на земной поверхности при размещении реперов вдоль профильной линии.

Репер 1 представляет собой забетонированную в массиве стойку. Каждый репер соединен стальной проволокой 2 с измерительной станцией 3, которая устанавливается в конце профильной линии.

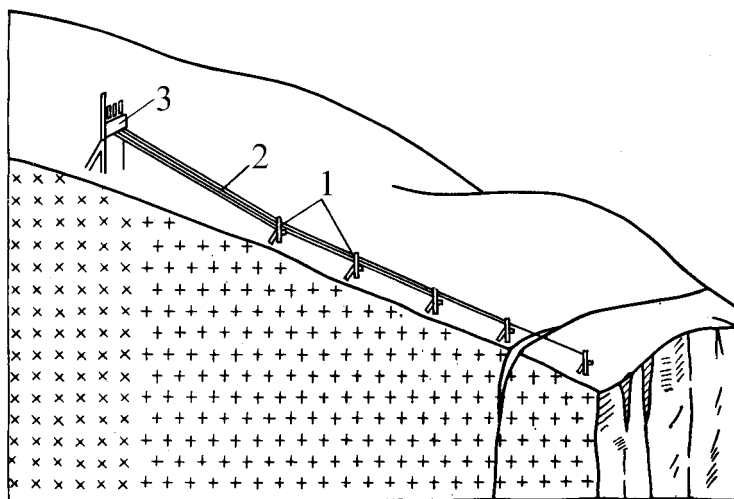


Рис. 15.29. Схема дистанционных наблюдений за сдвижением на земной поверхности

Изменение положения репера по высоте вызывает перемещение соответствующих штоков с грузом по направляющим на измерительной станции. Величина перемещений штоков измеряется с помощью теодолита, устанавливаемого каждый раз на одном и том же месте. При таком способе измерений погрешность измерений на расстоянии 300-400 м не превышает 10 мм. Этот способ наблюдений особенно эффективен в сложных климатических условиях.

Наблюдения за формированием и развитием процесса сдвижения в глубине подработанного массива осуществляют с использованием специальных реперов и геофизических измерений в глубоких скважинах.

Скважины бурят в направлении выработанного пространства или под углом, близким к углу сдвижения массива, или же вертикально. В скважине устанавливают с помощью якорных устройств с определенным интервалом по глубине реперы, которые связаны с поверхностью гибкими связями (стальная проволока). Установку и закрепление реперов производят в восходящем порядке на необнаженных участках скважины. На поверхности (рис. 15.30) вблизи устья сква-

жины бетонируют площадку, на которой устанавливается измерительная станция, состоящая из блоков и измерительной лебедки.

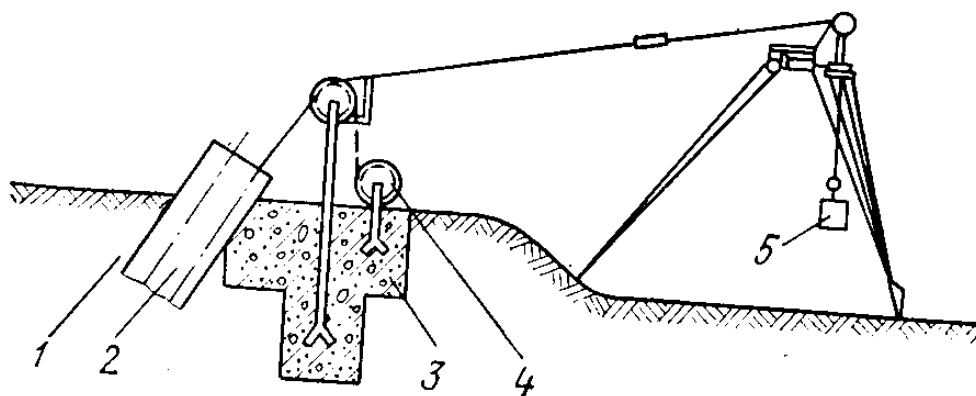


Рис. 15.30. Поверхностное оборудование глубинного скважинного репера:
1 – скважина; 2 – гибкие связи; 3 – бетонированная площадка;
4 – блоки; 5 – груз

Смещение реперов определяют по изменению длины связей в направлении оси скважины.

Описанный выше метод применим в случае крепких вмещающих пород, когда незакрепленные стыки скважины сохраняют устойчивость в течении требуемого, достаточно длительного, промежутка времени.

Если же вмещающие породы неустойчивы, то для сохранения скважины применяют обсадные трубы. В этом случае в качестве фиксированных точек по глубине скважины используют радиоактивные глубинные реперы (рис. 15.31).

Реперами служат капсулы, содержащие точечный излучатель гамма-лучей (изотоп Co^{60}). Капсулы выстреливают в стенки скважины с помощью специальных перфораторов. Положение капсул-реперов фиксируется с помощью опускаемых в скважины радиометров, снабженных глубиномера-

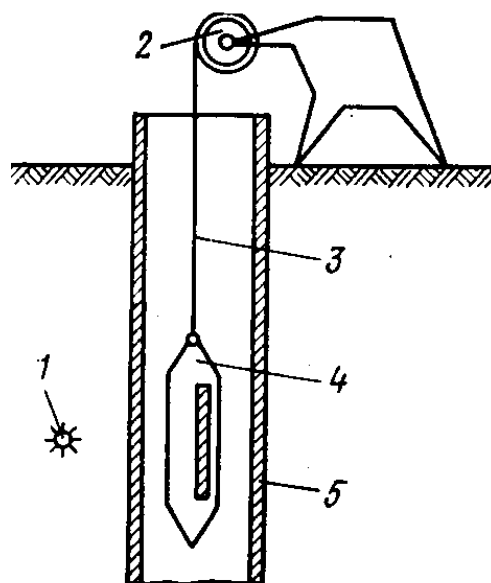


Рис. 15.31. Схема измерений с использованием радиоактивных реперов: 1 – радиоактивный репер; 2 – измерительный барабан; 3 – измерительный трос; 4 – измерительный снаряд; 5 – обсадная труба

ми. Максимум интенсивности гамма-излучения соответствует положению репера в скважине.

В качестве реперов возможно применение также в обсадных скважинах и индуктивных колец и магнитогерконовых датчиков. В первом случае отыскание точки с максимальной индукцией производят с помощью автогенераторных датчиков. Во втором случае в скважине расклинивают магнитоактивный предмет (отрезок металлической стальной трубы). На мерной ленте в скважину опускают герконовый датчик, состоящий из герметичного магнитоуправляемого контакта (геркона) и постоянного магнита. Геркон представляет собой две пластинки из ферромагнитного материала, расположенные близко друг от друга и запаянные в стеклянный баллон. В магнитном поле постоянного магнита пластинки притягиваются друг к другу и замыкают контакт. При уменьшении магнитного поля под действием построенного магнитоактивного предмета, пластинки геркона размыкаются, фиксируя положение репера.

Применение геофизических методов в сочетании с маркшейдерскими позволяет осуществлять комплексное изучение сдвижения породных массивов под влиянием подземных разработок.

15.9. Контроль за сдвижением породного массива на карьерах

Если при подземной разработке основной практический интерес представляют закономерности деформирования, разрушения и перемещения пород толщи массива и дневной поверхности, то в условиях открытых работ основная цель исследования процессов сдвижения пород заключается в обеспечении устойчивого состояния элементов карьеров - уступов и бортов, а также отвалов пород.

Деформации пород в карьере начинаются обычно сразу же после образования открытой горной выработки и происходят в течение всего срока службы.

Различают непрерывные и циклические процессы.

К **непрерывным**, т.е. происходящим постоянно, относят оседания, осыпи, суффозионные и поверхностные оплывания, к **циклическим**, т.е. идущим с переменной скоростью - оползни, обрушения и т. д. Наибольшую опасность представляют циклические процессы.

Для правильного проектирования и ведения открытых горных работ необходимо знать формы проявления процессов сдвижения и уметь прогнозировать характер их развития и возможные послед-

ствия. Необходимо также надежно рассчитывать основные параметры, обеспечивающие устойчивость уступов, бортов и отвалов в период разработки.

Контроль за сдвижением породного массива выполняется маркшейдерской службой предприятия и заключается в установлении характера сдвижения, величин смещения отдельных точек массива в пространстве и во времени, размеров сдвигающих породных толщ, параметров поверхностей скольжения, стадий активизации и затухания процессов сдвижения.

Наблюдения за развитием процессов сдвижения делятся на визуальные и инструментальные.

Визуальные наблюдения проводятся по мере необходимости и заключаются в том, что возможные места сдвижения осматриваются на предмет трещин, заколов и фиксируются с помощью фото- и видеотехники.

Инструментальные измерения носят систематический характер. Процесс развития трещин фиксируют с помощью щелемеров, маяков, реек. При наблюдениях за перемещением поверхностей бортов карьеров закладываются наблюдательные станции, на которых периодически проводятся инструментальные измерения.

Наблюдательные станции закладывают по проектам, содержащим план станции в масштабе 1:1000 или 1:2000, краткую пояснительную записку и соответствующие геологические карты и разрезы.

Реперы наблюдательной станции располагают по профильным линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера в предельном положении. Крайние пункты профильной линии закладывают вне зоны деформаций, возникающих при углубке карьера до проектной глубины. Обычно линии располагают по всему карьере (через оба противоположные борта и дно карьера), а при большой глубине карьера их закладывают на каждом борту карьера самостоятельно.

Каждая профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы должны находиться вне зоны деформаций в количестве не менее двух на каждой стороне. Расстояние между опорными реперами принимают 20 м и более.

Рабочие реперы закладывают по линиям, примыкающим к карьерам и на площадках (бермах) уступов или ярусов отвала. Длина линий на земной поверхности должна быть не менее $1,5 H$, где H - глубина карьера

Расстояния между реперами на этих линиях в зависимости от их удаления от верхней бровки борта карьера должны быть следующими:

а) на участке призмы возможного оползания (обрушения) - от 5 до 15 м;

б) с удалением от верхней бровки карьера - от 15 до 30 м;

На каждой площадке уступа закладывают не менее двух реперов один вблизи бровки уступа, другой у подошвы вышележащего уступа.

Исходные реперы, к которым производят привязку опорных реперов всех линий, должны быть в местах, обеспечивающих неизменность их положения в течение всего времени производства наблюдений, т.е. вне зоны влияния горных работ и за пределами зоны возможного оседания земной поверхности от снижения уровня подземных вод при дренаже карьерного поля.

Инструментальные наблюдения (нивелирование и измерение горизонтальных сдвижений) и их обработка состоят в основном из тех же операций, что и при подземной разработке месторождений, но при этом особое внимание обращают на направление и скорости смещения реперов, на характер, протяженность и ширину трещин на земной поверхности и бермах уступов.

Частоту наблюдений устанавливают в зависимости от интенсивности процесса сдвижения и решаемых задач. Она колеблется от пяти - десяти дней до одного года. В отдельных случаях (при наблюдениях за активными оползнями со скоростями смещения 10 мм/сут. и более) наблюдения проводят ежедневно и даже несколько раз в сутки (при скоростях, близких к критическим, т. е. предшествующих срыву оползня).

В последние годы вследствие широкого внедрения принципиально новых конструкций приборов (электронных нивелиров, тахеометров, лазерных дальномеров) резко расширились возможности применения геодезических методов и возросла производительность работ.

Для наблюдений за сдвижением пород на карьерах весьма перспективно применение принципиально новых методов спутниковой геодезии (GPS - наблюдений), которые бурно развиваются в последнее время. При этом координаты точек земной поверхности вычисляются по расстояниям до искусственных спутников Земли, координаты которых в данный момент времени известны. Таким образом, в качестве исходных пунктов, фактически, используются искусствен-

ные спутники Земли, т.е. пункты, заведомо находящиеся вне области сдвижения пород.

В случае организации наблюдений по таким технологиям отпадает необходимость построения традиционных геодезических сетей и появляется возможность сведения результатов к одному моменту времени, что совершенно невозможно при обычных измерениях. В настоящее время точность определения координат земных пунктов этими методами составляет несколько миллиметров, это обеспечивает необходимую точность контроля процессов деформирования горных пород, единственным сдерживающим обстоятельством является лишь высокая стоимость приборов.

На участках, где визуальным обследованием обнаружены признаки формирующихся нарушений устойчивости откосов, часто производят упрощенные маркшейдерские наблюдения. С этой целью закладывают временные наблюдательные станции, состоящие из обычных деревянных кольев и металлических стержней, забиваемых в грунт.

Для наблюдения за раскрытием трещин закладывают парные реперы (по обе стороны от трещины), представляющие собой колья или стойки с закрепленными на них телескопическими оцифрованными рейками, мерными лентами или проволоками.

Упрощенные наблюдения за осыпанием породы состоят в измерении расстояний от осыпи до реперов, закладываемых горизонтально по откосу выше уровня осыпи с интервалом 1 м. На участках между соседними реперами производят измерение углов откоса.

Для наблюдения за большими оползнями и определения их развития во времени и пространстве применяют метод наземной стереофотограмметрической съемки. Этот метод позволяет охватить наблюдениями недоступные и опасные места уступов и бортов карьеров, оперативно и в большом объеме получать необходимую информацию о состоянии карьеров. Он менее трудоемок, чем традиционные маркшейдерские наблюдения, и исключает необходимость закладки наблюдательных станций, что весьма важно при съемке крутых откосов, уступов, а также рабочих площадок, существующих не продолжительное время.

В последние годы для наблюдений за деформациями крупных карьеров и их геометризацией начинают применять аэрофотограмметрические методы съемок, которые позволяют быстро фиксировать состояние больших объектов (площадью 3 - 6 км²) и проводить наблю-

дения независимо от производства горных работ в карьерах и на отвалах. При этом методе практически отсутствуют “мертвые зоны”, встречающиеся при наземной фотограмметрической съемке, и отпадает необходимость в трудоемких работах по устройству базисов для установки фототеодолитов.

Для измерения вертикальных смещений массива используют геодезические приборы, гидростатические уровни и нивелиры, фотооптические приборы. Для измерения же горизонтальных смещений применяют наклономеры, маяки, рейки, геодезические приборы.

Прогноз сдвижений физическими методами на карьерах основывается на ряде явлений, происходящих в породном массиве, таких как зарождение поверхности скольжения в местах максимальной концентрации напряжений; возникновение трещин и разуплотнение пород вследствие нарушения первоначального равновесного напряженно-деформированного состояния; миграция капиллярной и гравитационной воды из более нагруженных областей в менее нагруженные и т.п. Эти явления сопровождаются микроразрушениями, изменением электрических, акустических, прочностных, упругих и других свойств горных пород.

При наблюдениях за состоянием бортов карьеров, сложенных мягкими покрывающими породами, и внутренних отвалов широко применяют методы электропрофилирования и вертикального электрического зондирования. В качестве прогнозного критерия используется отношение удельного электрического сопротивления горных пород, которое устанавливается в лабораторных условиях. Наблюдения проводят методом многократного повторения измерений (цикла) в течении всего времени наблюдения за откосом. Длительность цикла составляет несколько часов.

В результате интерпретации полученных таким образом данных составляют геоэлектрический разрез исследуемого участка и горизонт с изменяющимся электрическим сопротивлением. На основе анализа различных геоэлектрических разрезов определяют очаг оползня, что на картах соответствует концентрации изолиний кажущихся сопротивлений.

Используя принципы горной геометрии, с помощью разрезов кажущихся сопротивлений определяют инвариантные линии, выход которых на земную поверхность соответствует верхним точкам поверхности скольжения.

В реальных случаях превышение значений кажущихся сопротивлений в 3-6 раз всегда указывает на формирование поверхности скольжения.

Электрометрические исследования позволяют прогнозировать процесс оползнеобразования за сутки.

Для оценки устойчивости бортов карьеров, сложенных скальными породами, применяют методы сейсмического прозвучивания и продольного профилирования. В качестве характеристик, определяющих возможность возникновения и развития процесса сдвижения или устойчивости борта карьера в целом, используют обычные акустические показатели и их производные. Такими являются относительный показатель степени нарушенности породного массива, который представляет собой отношение скорости продольной волны в образце к скорости продольной волны в породном массиве; изменение коэффициента затухания упругих волн в пределах одного участка месторождения за определенный промежуток времени (месяц, год); скорость изменения коэффициента затухания. Сравнение измеренных характеристик с заранее принятыми, соответствующими различным уровнем развития процесса сдвижения, лежит в основе методики прогноза.

При использовании метода сейсмического зондирования источник упругих волн (взрыв, механическое устройство) размещают у подошвы уступа в скважине, а приемники - вдоль или перпендикулярно контуру борта карьера или уступа.

С целью получения более информативных данных о состоянии бортов карьера или уступов сочетают маркшейдерские методы изучения с физическими.

15.10. Противооползневые мероприятия на карьерах

Главную роль в борьбе с оползнями отводят профилактическим мероприятиям, поскольку предотвратить оползень значительно проще, безопаснее и дешевле, чем бороться с ним, когда он возникнет. Профилактические мероприятия включают:

а) изучение геологических и гидрологических условий залегания горных пород, их прочности, структурных и других особенностей участка месторождения;

б) учет условий залегания, свойств пород и особенностей месторождения при расчете устойчивости бортов карьеров и составлении проекта горных работ;

в) соответствие проектных параметров карьера (углов откоса бортов и уступов и пр.) натурным условиям;

г) качественное и своевременное выполнение дренирования земной поверхности в окрестностях карьера и поверхности его бортов, а также глубинного дренирования пород, слагающих откосы;

д) организацию систематических маркшейдерских и гидрогеологических наблюдений, регулярный отбор проб и их испытания, уточнение местонахождения структурных поверхностей ослабления массива, анализ полученных данных и оперативную корректировку принятых в проекте параметров карьера, технологии и порядка ведения горных работ.

При выполнении указанных мероприятий, как правило, удастся предотвратить оползни или свести к минимуму их вредные последствия.

Для борьбы с оползнями предложены разнообразные способы закрепления земляных масс: механические, химические способы замораживания и цементации их. Но в практике горного дела они широкого применения не нашли в силу высокой стоимости и недостаточной результативности. Опыт показывает, что эффективность борьбы с оползнями во многом зависит от того, насколько надежно установлены причины возникновения оползней и насколько своевременно начаты работы по их ликвидации.

Поскольку наиболее часто причинами нарушения устойчивости откосов на карьерах, сложенных глинистыми и песчано-глинистыми породами, являются обводнение этих пород и снижение вследствие этого их прочностных характеристик, основные меры борьбы с оползнями в этих условиях состоят в эффективном дренаже, обеспечении стока поверхностных вод, пригрузке фильтрующих участков.

Для обеспечения устойчивости откосов на карьерах, сложенных скальными и полускальными породами, применяют:

а) соответствующую технологию ведения буровзрывных работ в приконтурных зонах (микрзамедленное взрывание скважин в блоке и др.);

б) специальную заоткоску уступов (предварительное щелеобразование, гладкое взрывание);

в) искусственное укрепление ослабленных участков.

Основным источником обводнения разрабатываемых полезных ископаемых и пород вскрыши во многих случаях являются атмосферные осадки. Для обеспечения стока воды с земной поверхности производят планировку поверхности, придавая ей уклон в сторону дренажных канав, защищающих карьер от ливневых вод. Для стока дождевых и талых вод с площадки уступов проводят продольные и поперечные канавки, а площадке уступа придают соответствующий уклон (не менее $5^\circ/00$).

Глубинный дренаж предохраняет откосы от больших оползней, возникающих при пологом и наклонном залегании слабых и средней прочности пород вследствие высоких напоров воды в лежащем боку залежи. Осуществляют глубинный дренаж водопонизительными скважинами, подземными выработками со сквозными и забивными фильтрами, наклонными или горизонтальными самоизливающимися скважинами и иногда поглощающими скважинами.

Открытый дренаж применяют при вскрытии водообильных месторождений, сложенных слабыми породами, в том случае, если толща водоносных пород представляет собой один водоносный горизонт или если водоносный горизонт залегает в подошве разрабатываемого слоя полезного ископаемого, а также при дренировании слабообводненных горизонтально залегающих водоносных горизонтов и трещиноватых крепких пород.

Для обеспечения устойчивости скальных и полускальных пород часто требуется уменьшить сейсмическое влияние массовых взрывов на дробление горных пород за предельным контуром отработки уступов. Уменьшения этого влияния достигают применением микрозамедленного взрывания скважин, начиная с расстояния 30-40 м от предельного контура каждого уступа.

Эффективной мерой, обеспечивающей длительную устойчивость нерабочих бортов или участков в предельном положении, является их заоткоска под углами, соответствующими свойствам пород и характеру их трещиноватости. Заоткоску уступов в скальных и полускальных породах осуществляют наклонными взрывными скважинами диаметром 80-100 мм, которые бурят под углами откоса уступа на расстоянии друг от друга не более 3 м.

При неблагоприятно ориентированной трещиноватости для заоткоски уступов применяют методы контурного взрывания. Заряды контурного ряда взрывают либо после основных зарядов дробления, либо раньше их (предварительное щелеобразование).

Искусственное укрепление откосов уступов, сложенных скальными и полускальными породами, применяют обычно в тех случаях, когда необходимо удерживать от сползания или обрушения отдельные участки откосов уступа, ослабленные интенсивной трещиноватостью, неблагоприятно расположенными трещинами, дизъюнктивными нарушениями, слабыми контактами между слоями пород и пр. Укрепление осуществляют путем механического удержания призмы обрушения с помощью штанговой крепи, шпунтов, железобетонных свай и гибких тросовых тяжей, путем инъекций в массив укрепляющих растворов, путем изоляции пород, склонных к интенсивному выветриванию, выщелачиванию или дефляции, с помощью различного рода устойчивых покрытий (набрызгбетона, битума, эпоксидных и других смол).

Иногда для укрепления призмы обрушения применяют подпорные, защитные и контрфорсные стенки.

Механические способы укрепления слабых участков откосов часто применяют в комплексе.

Для борьбы с оползнями в карьерах применяют и такие способы, как снятие нагрузки с откоса, отгрузка очага оползня, оставление целиков и др.

Снятие нагрузки применяют в зоне действующих глубинных оползней, когда массив можно разделить на призму упора и призму активного давления. В этом случае вес призмы активного давления снижают путем срезки верхней части откоса, а все призмы упора наращивают путем отсыпки дамб в нижней части.

Отгрузку очага оползня производят на участках лежащего бока при падении слоев более $18-20^\circ$ и при возможности подрезки контактов или поверхностей ослабления, т.е. когда появляется угроза скольжения по ним горных пород. При отгрузке оползающих пород применяют меры по предотвращению оползания и обрушения верхних уступов.

Целики на карьерах оставляют в целях предотвращения и остановки оползания насыщенных водой рыхлых пород. Однако это весьма неэкономичный и недостаточно эффективный метод. Его следует применять только при соответствующем технико-экономическом обосновании, преимущественно при борьбе с местными оползнями, не распространяющимися на другие уступы.

Для предотвращения опасных деформаций отвалов производят дренирование основания отвалов, планировку поверхности отвалов и

другие работы, препятствующие дополнительному увлажнению пород в них.

Устойчивость отвалов рыхлых пород на прочном основании повышают путем первоочередной отсыпки предотвала и последующего заполнения пазухи между предотвалом и основным отвалом (в пониженных местах предотвал прерывают для пропуска дождевых и талых вод).

В случае угрозы оползания больших участков отвалов их высоту или общий угол разгона ярусов отвалов уменьшают до значений, при которых соотношение удерживающих и сдвигающих сил, действующих по поверхности скольжения, повысится на 10-15% по сравнению с отношением, при котором начались первые деформации.

При невозможности предотвратить развитие оползня отвалов оконтуривают призму возможного оползания (с помощью инструментальных наблюдений) и дальнейшие работы по отвалообразованию ведут с учетом оползания этой призмы.

15.11. Наземное и подземное лазерное сканирование

В настоящее время контроль состояния трёхмерных объектов на поверхности земли и в подземных выработках всё чаще выполняется с помощью наземных лазерных сканеров (НЛС) и подземных лазерных сканеров (ПЛС). Наземный лазерный сканер - это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью (от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду) расстояния от сканера до поверхности объекта и регистрирующая соответствующие направления (вертикальные и горизонтальные углы) с последующим формированием трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек.

Система наземного лазерного сканирования состоит из НЛС и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. НЛС состоит из лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой, и блока развертки лазерного луча. В качестве блока развёртки в НЛС выступают сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом поворачивается вся верхняя часть сканера, которая называется головкой. Развёртка в вертикальной плоскости осуществляется за счёт вращения или качания зеркала.

В процессе сканирования фиксируется направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. Результатом работы НЛС является растровое изображение-скан, значения пикселей которого представляют собой элементы вектора со следующими компонентами: измеренным расстоянием, интенсивностью отражённого сигнала и RGB-составляющей, характеризующей реальный цвет точки. Для большинства моделей НЛС характеристики реального цвета для каждой точки получается с помощью неметрической цифровой камеры.

Другой формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив точек лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (x, y, z), интенсивностью и реальным цветом.

В основу работы лазерных дальномеров, используемых в НЛС, положены импульсный и фазовый безотражательные методы измерения расстояний, а также метод прямой угловой развёртки (триангуляционный метод).

Импульсный метод измерения расстояний основан на измерении времени прохождения сигнала от приёмо-передающего устройства до объекта и обратно. Зная скорость распространения электромагнитных волн c , можно определить расстояние как: $R = c \cdot \tau / 2$, где τ - время, измеряемое с момента подачи импульса на лазерный диод до момента приёма отражённого сигнала. Импульсный метод измерения расстояний по точности уступает фазовому методу. Это происходит потому, что фактическая точность каждого измерения зависит от ряда параметров, каждый из которых может оказать влияние на точность конкретного измерения. Таковыми параметрами являются:

- длительность и форма (в частности, крутизна переднего фронта) зондирующего импульса;
- отражательные характеристики объекта;
- оптические свойства атмосферы;
- текстура и ориентация элементарной поверхности объекта вызвавшей отражение зондирующего луча по отношению к линии визирования.

Фазовый метод измерения расстояний основан на определении разности фаз посылаемых и принимаемых модулированных сигналов. В этом случае расстояние вычисляется по формуле: $R = \varphi_{2R} \cdot c / 4\pi f$, где φ_{2R} - разность фаз между опорным и рабочим сигналом; f - частота

модуляции. Режим работы фазоизмерительного устройства зависит от его температуры, с изменением которой незначительно изменяется фаза сигнала. Вследствие этого точное начало отсчета фазы определить нельзя. С этой целью фазовые измерения повторяются на эталонном отрезке (калибровочной линии) внутри прибора. Главное преимущество фазового метода измерения - более высокая точность, которая может достигать единиц миллиметров.

Всю совокупность ошибок в величинах, измеряемых НЛС, можно разделить на две группы:

- инструментальные, обусловленные качеством сборки и юстировки механических, оптических и электронных частей прибора (величины ошибок отражаются в техническом паспорте сканера и первоначально определяются на этапе сборки и юстировки прибора, а затем периодически - во время калибровки и метрологической аттестации НЛС);

- методические, источником которых является сам метод определения величин с помощью НЛС. Они могут быть вызваны окружающей средой (атмосферной рефракцией, затуханием электромагнитных волн, вибрацией прибора и т.п.) или обусловлены характеристиками объекта сканирования (размером, ориентацией, цветом, текстурой и т.д.)

Помимо высокой степени автоматизации, наземное лазерное сканирование обладает также следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

- возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях;

- трёхмерная визуализация в режиме реального времени, позволяющая на этапе производства полевых работ определить «мёртвые» зоны;

- неразрушающий метод получения информации;

- отсутствие необходимости обеспечения сканирования точек объекта с двух центров проектирования (стояния), в отличие от фотограмметрического способа;

- высокая точность измерений;

- принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов;

- высокая производительность НЛС сокращает время полевых работ при создании цифровых моделей объектов, что делает данную технологию более экономически выгодной по сравнению с другими;
- работы можно выполнять при любых условиях освещения, то есть днём и ночью, так как сканеры являются активными съёмочными системами;
- высокая степень детализации;
- многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

В настоящее время разработкой приборов для трёхмерного лазерного сканирования занимается множество фирм. Все эти фирмы выпускают сканеры для различных целей. Задачи, решаемые конкретной моделью НЛС, определяются его техническими характеристиками. Основными характеристиками современных наземных лазерных сканеров являются:

- точность измерения расстояния, горизонтального и вертикального углов;
- максимальное разрешение сканирования;
- скорость сканирования;
- дальность действия лазерного сканера;
- расходимость лазерного луча;
- поле зрения сканера;
- используемые средства получения информации о реальном цвете;
- класс безопасности используемого лазера;
- портативность и особенности интерфейса.

Программные продукты, применяемые в технологии лазерного сканирования, в зависимости от их функционального назначения разделяют на управляющие, создающие единую точечную модель, позволяющие построить двумерные и трёхмерные модели, а также комплексные.

Управляющее программное обеспечение позволяет осуществить следующие задачи:

- задание разрешения сканирования, сектора сканирования путём визуального выбора объектов, режима сканирования, режима работы цифровой камеры;
- визуализация сканов в режиме реального времени;
- контроль получаемых результатов;

- калибровка и тестирование сканера; выявление возможных неисправностей; учёт ошибок, связанных с влиянием внешних условий окружающей среды;

- объединение сканов;
- внешнее ориентирование сканов;
- экспорт результатов сканирования.

Задачами программного обеспечения для создания единой точечной модели является:

- объединение сканов;
- внешнее ориентирование сканов;
- сегментирование и разрежение точечной модели;
- визуализация точечной модели;
- экспорт и печать.

Назначением программного обеспечения для построения трёхмерных моделей и двумерных чертежей по данным сканирования является:

- создание из массива точек нерегулярной триангуляционной сети (TIN) и NURBS-поверхности;
- создание модели отсканированного объекта с помощью геометрических примитивов;
- профилирование;
- построение чертежей;
- проведение измерений (длин, диаметров, площадей и объёмов объектов);
- визуализация построенной модели (построение изолиний, текстурирование);
- сравнение построенной модели с проектной;
- экспорт и вывод на печать результатов обработки данных НЛС.

Комплексное программное обеспечение включает все функции управляющего программного обеспечения, а также обеспечивает:

- создание точечной модели;
- построение трёхмерных моделей и двумерных чертежей по данным наземного лазерного сканирования.

Областью применения наземного лазерного сканирования являются различные наземные и подземные объекты, технологические процессы, мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, топографические съёмки территорий, имеющих высокую степень застройки.

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений наземное лазерное сканирование обеспечивает:

- контроль соответствия геометрических параметров вновь построенных объектов и проектной документации на эти объекты;
- корректировку проекта в процессе строительства;
- исполнительную съёмку в процессе строительства и после его окончания;
- оптимальное планирование и контроль перемещения и установки сооружений и оборудования;
- мониторинг изменения геометрических параметров эксплуатируемых сооружений и промышленных установок;
- обновление генплана и воссоздание утраченной строительной документации действующего объекта.

В горной промышленности лазерное сканирование позволяет:

- определить объёмы и состояние выработок и складов сыпучих материалов;
- создавать цифровых моделей открытых карьеров и подземных выработок с целью их мониторинга (данные об интенсивности отражённого сигнала и реальном цвете позволяют создавать геологические модели);
- выполнять маркшейдерское сопровождение буровых и взрывных работ.

В нефтегазовой промышленности наземное лазерное сканирование предназначено для:

- создания цифровых моделей промысловых и сложных технологических объектов и оборудования с целью их реконструкции и мониторинга [238, 239];
- калибровки нефтеналивных наземных резервуаров и танков наливных судов;

В архитектуре с помощью лазерного сканирования можно выполнять следующие работы:

- реставрация памятников и сооружений, имеющих историческое и культурное значение;
- создание архитектурных чертежей фасадов зданий;
- реставрация, ремонт, отделка, переоснащение внутренних помещений или отдельных элементов декора.

Кроме того, системы НЛС применяются в судостроении, при моделировании различного вида тренажёров, создании двумерных и трёх-

мерных геоинформационных систем управления предприятием, фиксации ДТП и мест преступлений.

15.12. Автоматизированная система геомеханического мониторинга подземных предприятий

Освоение подземного пространства неизбежно связано с увеличением глубины проникновения человека в недра. С ростом глубины существенно возрастает гравитационная составляющая горного давления, активизируются его динамические проявления, повышается температура породной среды и т.д. Под воздействием образующихся искусственных полостей в земной коре происходят процессы перераспределения напряжений, вызывающие появление трещин, меняется пространственная структура породного массива, сопровождающаяся образованием блочной геофизической среды [231, 232]: происходит самоорганизация сложной механической системы «объект-породный массив». При определенных условиях процессы самоорганизации могут носить катастрофический характер, сопровождаться человеческими и материальными потерями. Для предотвращения подобных катастрофических явлений существуют сложные системы геомеханического мониторинга.

Система геомеханического мониторинга – это автоматизированная информационно-измерительная система непрерывного контроля, диагностики и прогноза напряженно-деформированного состояния породного массива, осуществляемых с целью повышения уровня безопасности при строительстве и эксплуатации размещенных в его пределах искусственных сооружений.

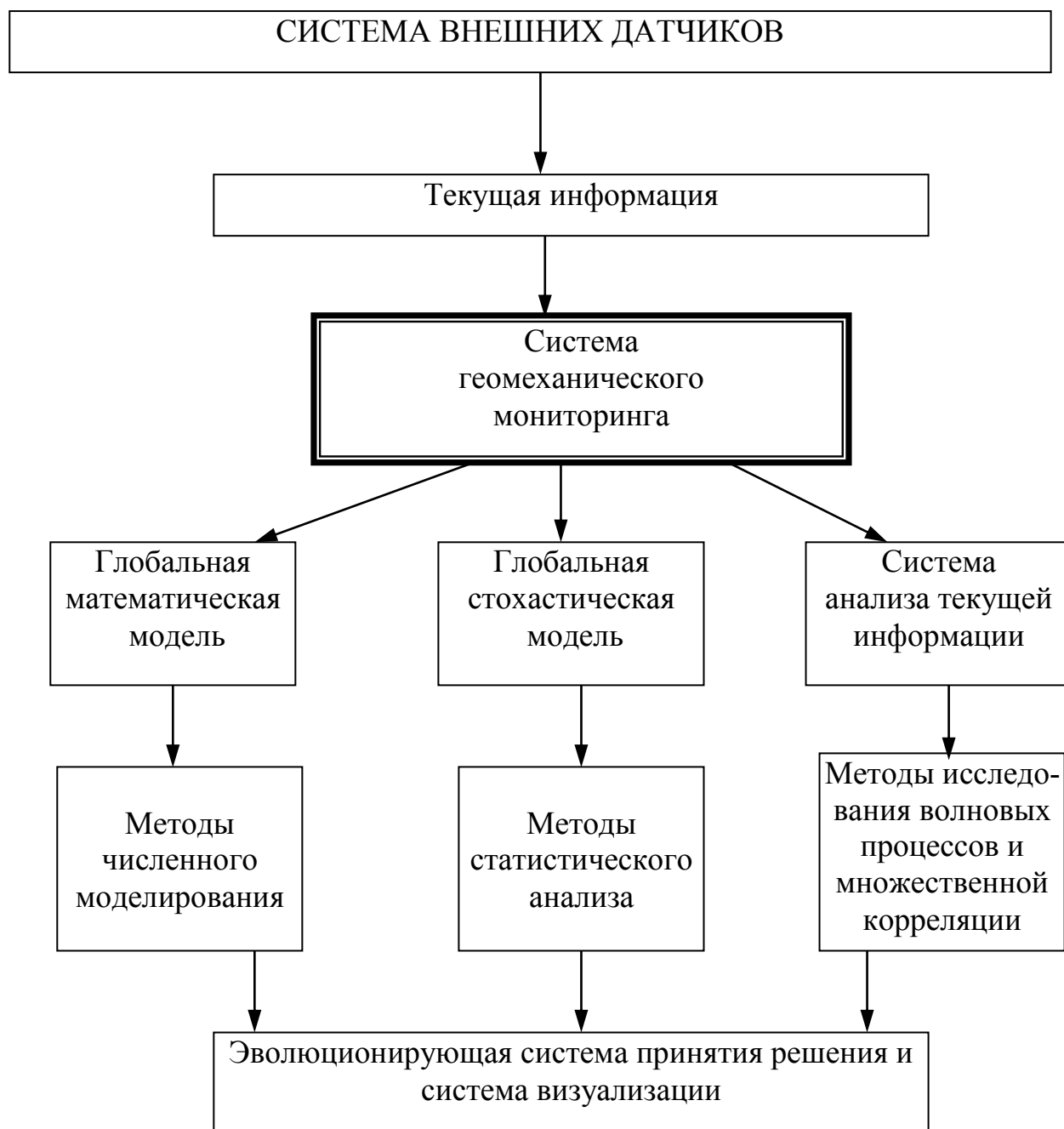


Рис. 15.32. Принципиальная схема системы геомеханического мониторинга

В данном случае под искусственными сооружениями понимают любые инженерные объекты преимущественно длительного назначения, построенные как в недрах земли, так и на ее поверхности, безопасность работы на которых существенно зависит от напряженно-деформированного состояния породного массива. Это шахты, рудники, карьеры, подземные хранилища, выработки метро, тоннели, плотины гидроэлектростанций и т.п.

Как следует из определения, основными составляющими геомониторинга являются контроль, диагностика и прогноз напряженно-деформированного состояния породного массива, которые в логической схеме геомониторинга соответственно обеспечивают:

- своевременное выявление участков породного массива, в которых параметры НДС приближаются к предельно допустимым;
- установление и исследование внутренних и внешних факторов, приводящих к возникновению аномальных зон НДС;
- определение вероятного развития геомеханической ситуации и обоснование мер по ее нормализации.

Основной эффект в системе геомеханического мониторинга достигается за счет применения в режиме реального времени фундаментальных результатов в области геомеханики и непрерывно поступающей разносторонней информации о физических параметрах наблюдаемого объекта. Стратегия ее разработки учитывает стохастический характер объекта, строится на базе современных информационных технологий и предусматривает возможность интеллектуальной эволюции системы по мере накопления фактических данных. Общая схема системы геомеханического мониторинга приведена на рис. 15.32.

Сравнительный анализ систем геомеханического мониторинга, работающих в США, ФРГ, Франции, Японии [233, 234, 235, 236] показывает, что общим для них является концепция совмещения наблюдений одновременно за рядом физических параметров, косвенно характеризующих напряженно-деформированное состояние породного массива: температура, электропроводность, интенсивность электромагнитного излучения, акустическая эмиссия и т.п. При этом в рамках одной системы совмещаются математические модели различной природы, например, волнового рассеяния, фильтрации, упругопластическивязкой сплошной среды, многомерного статистического анализа и т.д. Непрерывное накопление поступающих от разветвленной сети датчиков информации предполагает наличие блоков ее статистической обработки, анализа и прогноза развития напряженно-деформированного состояния.

Система геомеханического мониторинга состоит из отдельных локальных диагностических модулей и строится по открытой схеме, что позволяет подключать к ней также модули газового мониторинга, противопожарной сигнализации, защиты технологического оборудования, вентиляционного маневра с выводом необходимой информа-

ции на центральную ЭВМ, установленную в помещении диспетчерской службы предприятия.

Большие работы по созданию системы геомеханического мониторинга ведутся в Московском государственном горном университете (Россия) [237].

Эффективная работа системы геомеханического мониторинга в значительной мере обеспечивается качеством периферических датчиков, среди которых основными элементами системы являются датчики измерения напряжений в породном массиве. Разработчиками МГГУ предложены два типа тензорезисторных датчиков с мембранными чувствительными элементами.

Конструктивные схемы датчиков являются идентичными и отличаются друг от друга только размерами, толщиной мембран и диапазонами измерений. Первый тип датчиков имеет диапазон измерений $0 \dots 0,6$ МПа, второй - $0 \dots 20,0$ МПа.

Конструктивная схема датчиков показана рис. 15.27.

Размеры, толщина мембран, чувствительность, допускаемые перегрузки и рабочие коэффициенты преобразования датчиков приведены в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Характеристика датчиков измерения напряжений

Наименование параметров датчика	Датчик на номинал 0,6 МПа	Датчик на номинал 20,0 МПа
Наружный диаметр, мм	16	20
Высота, мм	3,5...4,0	4,5
Толщина мембраны, мм	0,35	1,2
Номинальный предел измерения, МПа	0,6	20,0
Допустимая перегрузка, $P_{\text{наг}}/P_{\text{нм}}$	30	1,2
Чувствительность, МПа	0,008	0,1
Рабочий коэффициент преобразования, мВ/В	0,5...0,6	1,5...3,0

Рабочим элементом датчика является розеточная тензорезисторная сборка типа КФ5М-10-200-Н-12, которая представляет набор из четырех тензорезисторов, соединенных по мостовой схеме измерения.

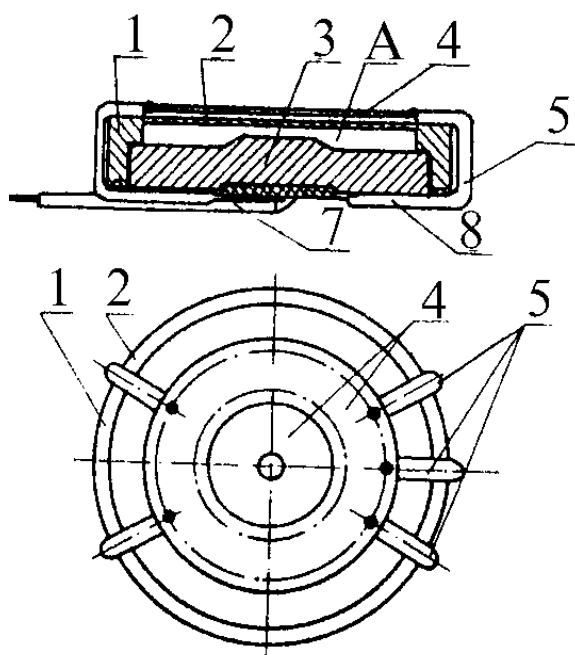


Рис. 15.33. Конструкция датчика: 1 - корпус; 2 - упругий элемент; 3 - основание с предохранительным элементом; 4 - тензорезисторы типа КФ5М-10-200-А-12; 5 - изолированные токовыводы; 6 - плата; 7 - провода для вывода сигнала датчика; А - внутренняя полость датчика.

Датчики размещаются в так называемых измерительных модулях, которые выполняют функцию контейнера для доставки датчиков в шпур диаметром около 40 мм, и, кроме того, позволяют определенным образом ориентировать мембраны датчиков, осуществляя тем самым векторное измерение механических напряжений.

Всего разработано два типа модулей. Конструктивная схема модуля первого типа приведена на рис. 15.33, модуля второго типа на рис. 15.34.

Модуль первого типа представляет собой жесткую фигурную пластину-корпус 3, имеющую центрирующий элемент 4 и гнездо 8 для фиксации в головке захвата узла доставки модуля в шпур.

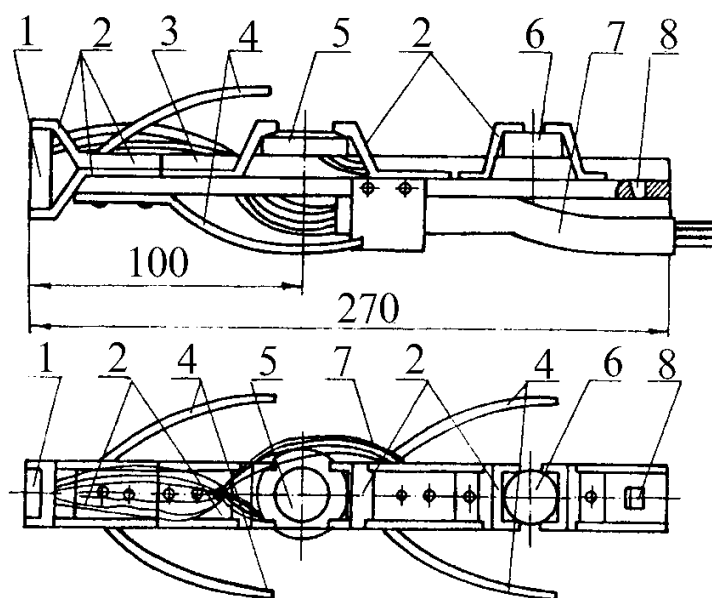


Рис. 15.34. Конструктивная схема измерительного модуля первого типа: 1,5,6 - датчики; 2 - детали крепления датчиков; 3 - корпус измерительного модуля; 4 - центрирующие элементы; 7 - провода; 8 - гнездо для зацепа головки захвата узла доставки модуля в шпур

На корпусе модуля с помощью деталей крепления 2 установлены датчики 1,5,6. Для защиты электрических цепей датчика от воздействия влаги применено их покрытие герметиком УЗО-МЭС-10. Датчики 1,5 имеют предел измерения 0,6 МПа, датчик 6 - 20,0 МПа.

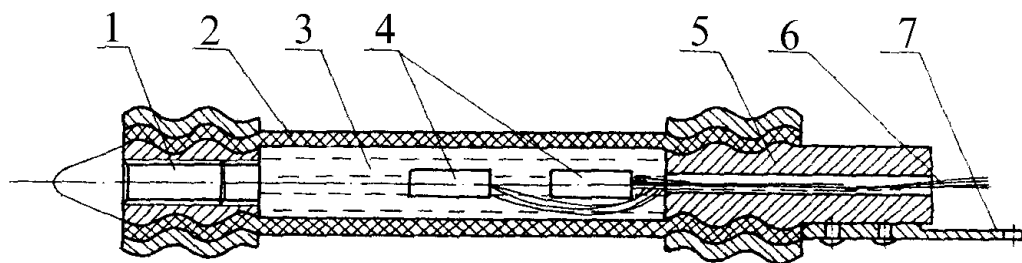


Рис. 15.35. Конструктивная схема модуля второго типа

Электрические провода 7 от датчиков заложены вдоль корпуса модуля и закреплены ниточным бандажом. Датчики 5, 6 предназначены для измерения нормальной составляющей суммарного вектора механического напряжения, действующего в горном массиве, датчик 1 - для измерения механического напряжения, действующего вдоль оси шпура. Общая длина измерительного модуля составляет 300 мм.

Конструкция измерительного модуля второго типа (рис. 15.35) представляет собой герметичную емкость, заполненную трансформаторным маслом, в качестве оболочки которой использован напорный армированный шланг 2 с внутренним диаметром 25 мм (дюритовый шланг). Внутри шлангов размещены два датчика с пределами измерения 0,6 МПа и 20,0 МПа. Один торец шланга загерметизирован заглушкой 1 с наконечником, второй торец заглушен герморазъемом 5 для вывода электрических проводов 6 от датчиков 4. Для установки в шпур модуль заканчивается хвостовиком 7. При действии горного давления шланг 2 сжимается, и через масло 3 усилие сжатия передается на датчики 4. Последние преобразуют давление в электрический сигнал.

Пространство между стенками шпура и корпусом измерительного модуля заполняется цементно-песчано-глиняной смесью, с помощью особых приспособлений. Процентное соотношение компонентов в смеси следующие: 40:40:20. Цемент применяется марки 400.

Для усиления и индикации сигналов с тензорезисторных датчиков используется тензометрическая станция типа КЗ/1-Ув.

Тензометрическая станция типа КЗ/1-Ув предназначена для усиления и индикации сигналов с тензорезисторных датчиков. В тензостанции выполняется прямое усиление сигналов с тензорезисторных датчиков с мостовой измерительной схемой и визуализация результатов измерения в цифровом виде в единицах преобразуемой датчиками механической величины. Тензостанция обеспечивает питание мостовых измерительных схем датчиков напряжением постоянного тока. Тензостанция КЗ/1-У в комплекте с аккумуляторным блоком исполнения РВ может эксплуатироваться как в нормальных условиях, так и во взрывоопасных условиях, например, в угольных шахтах.

Тензометрическая станция состоит из собственно тензостанции КЗ/1-Ув и аккумуляторного блока питания БПА-РАУв.

Усиленные в тензостанции сигналы по кабелям передаются в ЭВМ, где на основе сложного программного обеспечения результаты измерений выводятся, на экран монитора, а при необходимости и на принтер. Затем они сопоставляются с результатами измерений косвенных физических параметров, например, электропроводности, акустической эмиссии, в результате чего, создается картина напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности выработок и оценивается степень его опасности.

Анализ полученных данных позволяет своевременно принять адекватные инженерные решения по управлению горным давлением.

Библиографическая справка

1. Лаплас, Пьер Симон (1749-1827) - французский физик, астроном и математик, почетный член Петербургской АН. Научные исследования относятся к области механики, математики и математической физики. Автор классических трудов по теории вероятностей и небесной механике.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите методы определения напряжений на поверхности выработки.
2. Что такое «метод полной разгрузки»?

3. Что такое «метод частичной разгрузки»?
4. Что такое «метод компенсационной разгрузки»?
5. Изложите суть метода разгрузки керна на схеме ВНИМИ.
6. Изложите суть метода разгрузки керна с центральной скважиной.
7. Как влияет форма торца скважины на оценку величины напряжений в исследуемой точке породного массива?
8. Для каких целей используют электрометрический и звукометрический методы?
9. Опишите конструкцию контурного и глубинного реперов. Для каких целей применяют реперные станции?
10. В чём особенности измерений перемещений в выработках, закрепленных анкерной крепью?
11. С помощью каких приборов измеряют нагрузку на крепь выработок?
12. Какие существуют методы измерения нагрузки на крепь горных выработок?
13. Как измеряют нагрузку на крепь с помощью кривизномеров?
14. Как применяют статистические способы оценки нагрузки на крепь?
15. Как оценивается состояние выработки с помощью вероятностного показателя устойчивости?
16. Для чего предназначена и как устроена система геомеханического мониторинга подземных предприятий?
17. Что такое томография породного массива? Каковы ее возможности?
18. Что такое георадары и где они используются?
19. С помощью каких наблюдательных станций производится контроль процессов сдвижения подрабатываемых породных массивов.
20. Какие наблюдения за состоянием породных откосов организовываются на карьерах?
21. С помощью каких методов и приборов оценивается состояние породных откосов?
22. Что такое наземное и подземное лазерное сканирование? Принцип работы лазерных сканеров и область применения.