

**М**етодические рекомендации  
по проведению натуральных наблюдений  
в стволах, сооружаемых в сложных  
горно-геологических условиях

Белгород 1985

**МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР**  
**Управление горного производства**

**Всесоюзный научно-исследовательский, конструкторско-технологический  
и проектно-экономический институт по освоению месторождений  
полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии  
и маркшейдерскому делу**

**В И О Г Е М**

**УТВЕРЖДАЮ:**

**Директор института**

**И. Ф. Осваич**

**7 мая 1985 года**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СТВОЛАХ,  
СООРУЖАЕМЫХ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Балгород 1985**

В настоящих рекомендациях изложена методика натуральных наблюдений в отвалах, сооружаемых в сложных горно-геологических условиях и закрепленных комбинированной многослойной крепью. Приведен перечень необходимой измерительной аппаратуры и датчиков. Показаны методы обработки и анализа результатов натуральных наблюдений.

Методические рекомендации рассчитаны на инженерно-технических и научных работников, занимающихся натурными наблюдениями и экспериментальными исследованиями в подземных сооружениях.

Работа составлена докт. техн. наук Д. М. Казыкаевым, инженером О. Н. Борисовым, канд. техн. наук С. В. Сергеевым, утверждена сессией НТО "Специальные горные работы, геомеханика и маркшейдерское дело" 5 июля 1983 г.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современный этап развития горнорудной промышленности характеризуется усложнением горно-геологических условий добычи полезных ископаемых. В настоящее время эксплуатируется Белосерское, осваивается Яковлевское железорудные месторождения, горно-геологические условия вскрытия которых не имеют аналогов в отечественной горной практике. На Яковлевском месторождении КМА рудное тело залегает под шестисотметровой осадочной толщей, представляющей глинистый об-разом малопрочными и малосвязными породами, в которых содержатся восемь водоносных горизонтов с напором до 5,1 МПа. Одной из самых сложных задач, связанных с освоением таких месторождений, является сооружение шахтных стволов.

Эксплуатационно-технические показатели ствола характеризуются состоянием его крепи. Стоимость крепи составляет до 60% стоимости сооружения ствола [1]. При вскрытии месторождений со сложными горно-геологическими условиями требуемая высокая несущая способность крепи достигается применением комбинированных многослойных конструкций. Например, стволы Яковлевского рудника КМА, в зависимости от величины ожидаемого горного давления, закреплены двухслойной (тубинговая колонна и слой бетона) и трехслойной (внутренняя и внешняя тубинговая колонны и междукolonный бетон) крепью. При этом особое значение приобретает создание рациональных конструкций крепи, в которых наиболее полно и эффективно используются свойства всех конструктивных элементов и материалов и обеспечивается их совместная работа.

Строительная механика подземных сооружений, оформившаяся как новое научное направление, рассматривает крепи горных выработок во взаимодействии их с окружающим массивом горных пород. При этом огромное значение имеют натурные экспериментальные наблюдения, которые позволяют совершенствовать технологии крепления и предложить новые типы крепи. За последние годы в СССР и за рубежом все большее внимание обращают на вопросы экспериментальных исследований непосредственно в подземных сооружениях.

В нашей стране натурные наблюдения в шахтных стволах в основном выполнял институт НИИМИ [3]. Наблюдения проводились в Донецком, Львовско-Волынском и Карагандинском бассейнах в различных условиях сооружения стволов от относительно простых до сложных с применением способа замораживания пород. В основу натурных исследований НИИМИ был положен метод прямых измерений нагрузок на крепь динамометрическими баллонами. На основании натурных наблюдений были установлены -

лены основные положения механизма взаимодействия крепи стволов с массивом породы, а также разработаны Общие методические положения комплексного исследования проблем горной геомеханики [7], в которых наиболее полно освещены современные достижения в данной области и даны научно обоснованные методические рекомендации по постановке и проведению шахтных экспериментальных исследований в области горного давления.

Натурные наблюдения проводились также институтами ЛГИ, МГИ, ДГИ с использованием других методов и иных технических средств с ориентировкой на косвенный метод оценки величины давления по измеренным деформациям элементов крепи.

Наиболее перспективным является комплексный метод проведения натурных наблюдений, который включает измерения величин смещений горных пород в забое ствола в период их обнажения взрывом до установки постоянной крепи; контактного давления на крепь и деформаций всех слоев крепи; температуры крепи и околоствольных пород.

В настоящих Методических рекомендациях обобщен опыт организации и проведения инструментальных измерений в шахтных стволах, сооружаемых в сложных гидрогеологических условиях с широким применением взрывных работ в забое и интенсивным ведением других технологических операций, что накладывает определенный отпечаток на методику и технику натурных исследований. Последовательность изложения разделов отражает последовательность проведения натурных наблюдений в стволе на участке сооружения замерной станции.

В работе использованы материалы и результаты исследований, выполненных в отделе геомеханики института ВЮГЕМ с 1970 по 1984 гг.

Авторы с благодарностью примут критические замечания и предложения по существу работы.

## 1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СМЕЩЕНИЯМИ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССЕ ПРОХОДКИ

В отечественной и зарубежной горной практике накоплен некоторый опыт по наблюдениям за смещениями пород при проходке стволов [5,6]. Однако в настоящее время нет единой методики и технических средств проведения подобных исследований. Они индивидуальны и определяются поставленными задачами, технологией сооружения ствола и отражают, как правило, измерения смещений породных стенок и забоя при ручной выемке замороженной породы. В этих условиях наблюдения можно вести практически непрерывно от момента обнажения породы до установки постоянной крепи.

Применение взрывной отбойки замороженной породы существенно осложняет проведение указанных измерений, так как на определенное время взорванная породная масса ограничивает доступ к стенкам, что исключает возможность установки реперов и наблюдений в период наиболее активного процесса смещений.

Разработанная методика позволяет охватить наблюдениями процесс смещения породных стенок от момента разрушения пород взрывом до сооружения постоянной крепи, не нарушая при этом технологические операции по бурению, погрузке породы и креплению.

При разрушении пород взрывом наибольший интерес представляет величина конвергенции породных стенок ствола непосредственно после взрывной отбойки породы, характеризуемая в этот период, в основном, упругими смещениями сколоствольного массива пород.

#### 1.1. Измерение величины конвергенции стенок ствола, вызванной разрушением пород взрывом

Закладка реперов для измерения величины конвергенции осуществляется в период обустройства забоя. Для этого на линии сопряжения стени с забоем бурятся шесть шпуров диаметром 40 мм глубиной 1 м под углом  $45^{\circ}$  к стенке ствола, в них забиваются круглые металлические штыри соответствующей длины и диаметра, рис. 1.1.

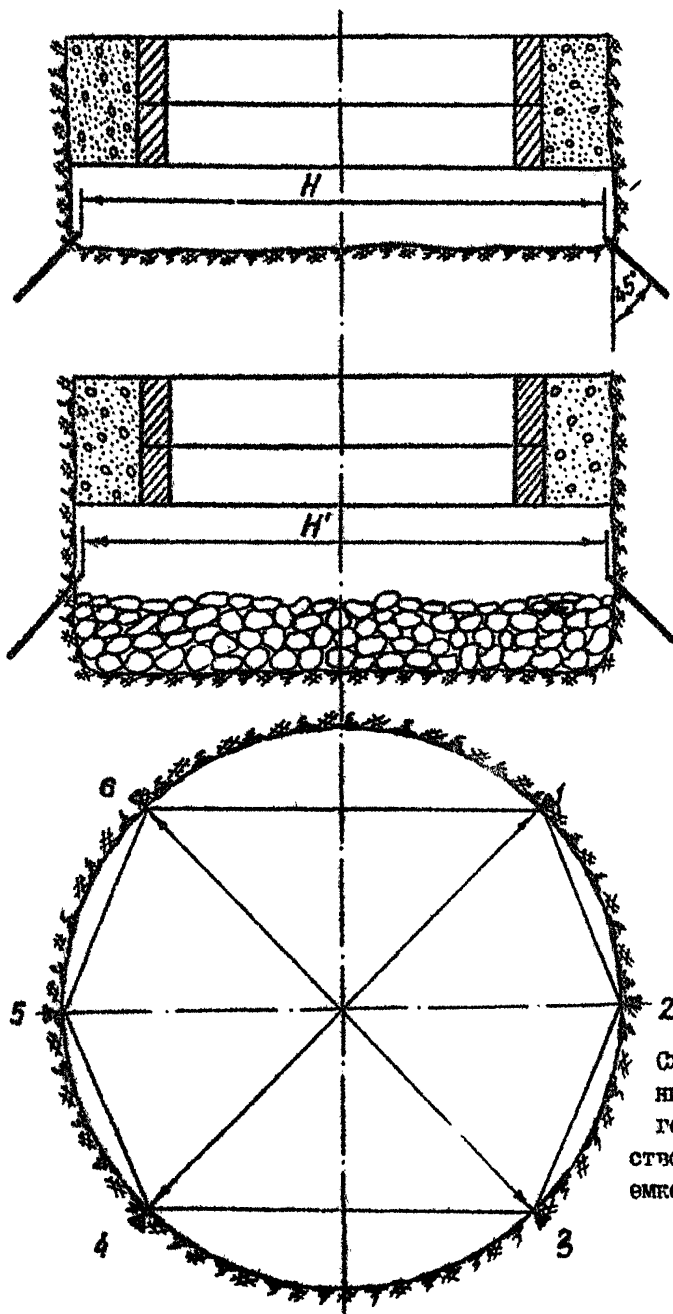
Затем производится измерение расстояния между реперами  $H$ , а также по хордам между ближайшими по окружности реперами. Второй цикл измерений  $H^x$  производится после взрыва и уборки породы по мере обнажения реперов. По разностям величин  $H - H^x$  определится величина конвергенции стенок ствола по интересующим направлениям.

В табл. 1.1 приведены примеры результатов наблюдений за величиной конвергенции стенок ствола № 2 Яковлевского рудника на глубине 362 м в замороженных глинах.

Таблица 1.1

Номера баз	Величина базы измерений, мм		Величина кон- вергенции, мм
	до вземки породы $H$	после вземки породы $H^x$	
1-4	8850	8815	35
2-5	8722	8685	37
3-6	7875	7835	40

Наблюдения за конвергенцией стенок при разрушении пород взрывом необходимо производить во всех типах вскрываемых стволом пород.



2 РИС. I. I.  
 Схема измерения  
 конвергенции стенок  
 ствола при вы-  
 емке пород взры-  
 вом

## 1.2. Наблюдения за смещениями породных стенок ствола в процессе проходки

Измерение радикальных смещений породных стенок является следующим этапом наблюдений и производится, начиная с уборки взорванной породы, по базам между реперами в породной стенке ствола и отвесах, закрепленных на тубингах последнего кольца заходки крепи, рис. 1.2. Закрепление отвесов на чугунных тубингах производится с помощью магнитов, что позволяет легко и быстро устанавливать и снимать их. В качестве реперов применяются пики от отбойных молотков. Установка реперов производится по мере обнажения стенок ствола на высоту не менее 1 м от тубинговой крепи. Сразу же после закрепления реперов и отвесов необходимо промерить начальную базу  $d$  жесткой линейкой с миллиметровыми делениями. На линейке закреплен уровень, который ограничивает возможность индивидуальных ошибок в оценке положения линейки.

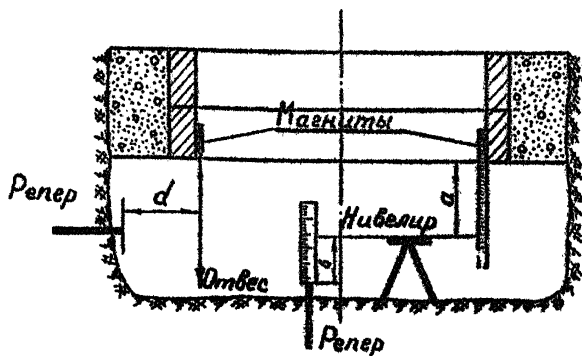


Рис. 1.2. Схема измерения смещений породных стенок и забоя ствoла

Последующие измерения производятся в зависимости от интенсивности смещений через 1-3 ч вплоть до перекрытия участка наблюдений тубинговой крепью. После навески тубингов измерение смещений стенок с помощью отвесов становится невозможным и может быть продолжено с помощью специального приспособления, представляющего собой металлический стержень, который пропускается через тампонажное отверстие тубинга до контакта с породной стенкой. Стержень прижимается к породе специальной пружиной с некоторым усилием, чтобы пред-



отвратить изменение места контакта с породной стенкой от вибраций тубинговой колонны, вызываемых работой пневмопогрузчика при уборке породы или монтаже тубинговых колец. При смещении пород происходит движение стержня относительно тубинговой колонны и отсчетного устройства, закрепленного на ней.

В табл. I.2 приведены результаты измерений величин радиальных смещений породных стенок ствола № 2 Яковлевского рудника на глубине 363 м в замороженных глинах.

Таблица I.2

Номер репера	Величина базиса $\alpha$ , мм		Величина смещений, мм
	начальная, 20 ч 24.10.78	конечная, 2 ч 25.10.78	
1	840	835	5
2	901	895	6
3	889	882	7
4	943	930	13
5	871	865	6
6	877	870	7

### I.3. Наблюдения за смещением пород в забое ствола

Вертикальные смещения пород забоя ствола определяются методом нивелирования. Наиболее удобным временем проведения наблюдений является период перед бетонированием затубингового пространства. В это время производится засыпка поддонов для бетонирования взорванной породой, по мере которой центр ствола освобождается от породы. На этом месте производится бурение 2-3 шпуров глубиной 1 м и устанавливаются реперы. Опорной базой для нивелирования служит тубинговое кольцо предыдущей заходки, к которому подвешивается металлическая рулетка или рейка. После установки реперов и закрепления рулетки нивелиром снимаются начальные показания (см. рис. I.2). При этом фиксируются величины  $\alpha$  и  $\beta$ . В дальнейшем показания снимаются по мере обнажения реперов, например, после завершения бетонирования и закрытия забоя от породы. Последние показания снимаются после обустройства забоя перед взрыванием шпуров. В результате смещения пород забоя происходит уменьшение общей величины базиса  $\alpha + \beta$ . В момент взрыва происходит разрушение реперов. Для дальнейших наблюдений устанавливаются новые.

Абсолютная величина смещения забоя определяется по формуле

$$\Delta = (\alpha + \beta) - (\alpha' + \beta'), \text{ мм.}$$

В табл. I.3 показаны результаты наблюдений за смещением пород забоя ствола № 2 Яковлевского рудника на глубине 363 м в глинах.

Таблица I.3

Номер репера	Величина сдвигов, мм		Величина вертикального смещения забоя $\Delta$ , мм
	начальная $a + b$ 19 ч, 1.12.78	конечная $a' + b'$ 8 ч, 2.12.78	
1	1903	1891	12
2	1813	1797	16

Как видно из табл. I.3, продолжительность наблюдений составила 13 ч. За это время выполнялись следующие операции проходческого цикла: доведение диаметра ствола в проходке до проектных размеров; уборка породы под твинговое кольцо; монтаж твингового кольца; укладка бетона.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет наиболее полно исследовать сдвигание пород призабойной зоны в условиях интенсивного ведения операций проходческого цикла.

Полную величину радиального смещения породной стенки в интервале времени от вмески пород взрывом до установки крепи определяет суммирование величин конвергенции и радиальных смещений, измеренных от отвеса. Полученные в результате натурных наблюдений величины смещений породных стенок и забоя ствола используются при расчете величин прогиба замораживающих колонок, в расчетах напряженно-деформированного состояния ледопородного цилиндра, при выборе высоты заходки крепления и т.д.

## 2. СООРУЖЕНИЕ ЗАМЕРНЫХ СТАНЦИЙ В ОТВОЛЕ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ

### 2.1. Размещение датчиков в крепи ствола

При наблюдениях за напряженно-деформированным состоянием многослойных комбинированных конструкций крепи необходимо получать информацию о деформациях каждого из слоев с тем, чтобы выяснить механизм их взаимодействия в процессе деформирования.

Такие исследования осуществляются на специальных замерных станциях, сооружаемых в крепи на тех участках ствола, которые представляют наибольший интерес с точки зрения характера и величины нагнетения.

На замерной станции размещение датчиков производится 3-ми- 4-мя группами, располагаемыми через равные интервалы по периметру крепи. Датчики деформаций в каждой группе размещаются во всех слоях крепи (в бетоне и на тубингах) примерно в одном радиальном сечении (рис. 2.1), чтобы уменьшать разброс показаний от неравномерности нагру-

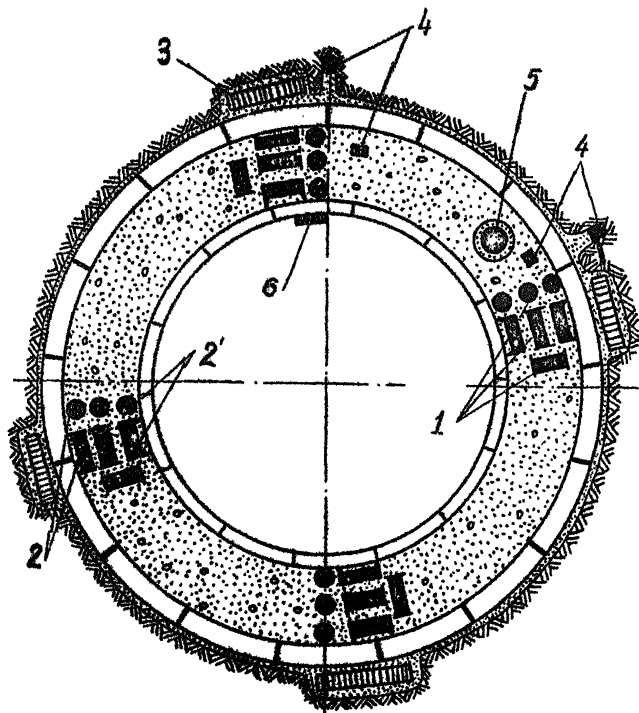


Рис. 2.1. Размещение групп датчиков по периметру крепи ствола:

1 - датчики для измерения деформаций бетонной части крепи;  
 2 и 2' - датчики для измерения деформаций (напряжений) внешних и внутренних тубинговых колонок; 3 - динамометрический баллон;  
 4 - датчики температуры; 5 - усадочный цилиндр; 6 - клеммный щиток выводного кабеля

жения крепи. Как видно из рис. 2.1 и 2.2 в бетоне датчики деформаций ориентируются в тангенциальном радиальном и вертикальном на -

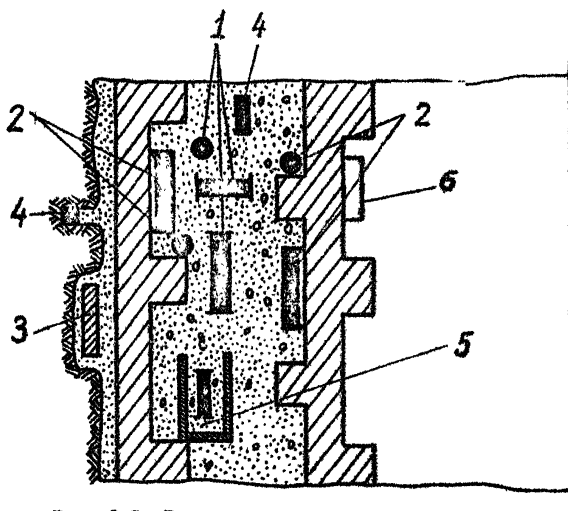


Рис. 2.2. Расположение датчиков в группе:

1 - датчики для измерения деформации бетонной части крепи ;  
 2 и 2' - датчики для измерения деформаций (напряжений) внешней  
 и внутренней туннельных колонн; 3 - динамометрический баллен;  
 4 - датчики температуры; 5 - усадочный цилиндр; 6 - выводной  
 клеммный щиток

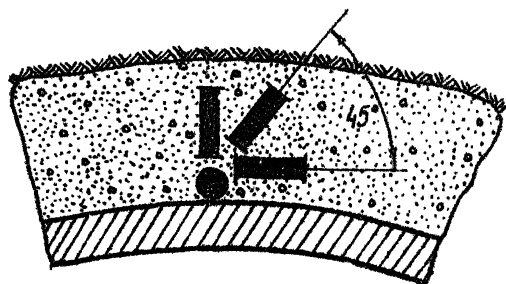


Рис. 2.3. Расположение деформметров в бетоне для оп-  
 ределения величин и направления главных деформаций в се-  
 чении крепи

правлениях. В случае ожидаемого неравномерного распределения нагрузки по периметру креша для оценки величины касательных напряжений в бетоне устанавливаются дополнительные датчики деформаций, которые ориентируются в одной плоскости с тангенциальным и радиальным датчиками под углом  $45^\circ$  к ним, рис. 2.3.

По измеренным деформациям  $\epsilon_\theta$ ,  $\epsilon_R$ ,  $\epsilon_{45^\circ}$  определяются величины главных нормальных и касательных напряжений в сечении креша (см. разд. 3).

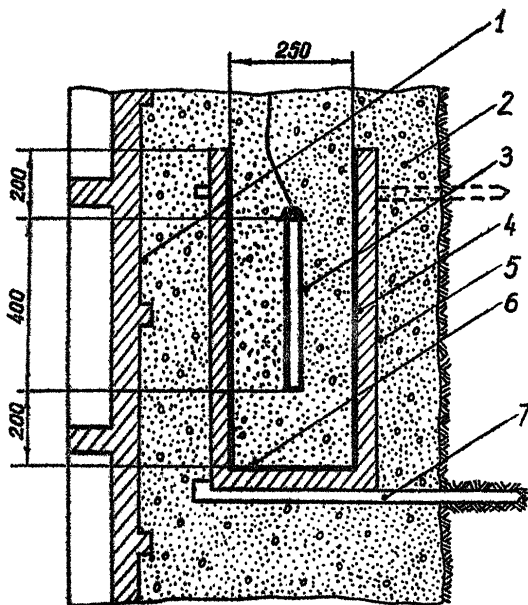


Рис. 2.4. Размещение усадочного цилиндра в бетонной части креша:

1 - тубинговая крешь; 2 - бетон; 3 - деформометр; 4 - резиновая оболочка; 5 - металлическая труба; 6 - резиновый поддон; 7 - металлический штырь

В стволах, проходных способом замораживания, немаловажное значение имеют температурные деформации бетона. При ограничении свободы перемещений это свойство бетона влечет за собой появление в нем температурных напряжений, которые необходимо учитывать. Для этого в бетонной части комбинированной крепи необходимо устанавливать усадочный цилиндр, который представляет собой образец бетона, защищенный стальной трубой от окружающего массива бетона, но связанный с ним по площади одного из торцов, рис. 2.4. Датчик, заключенный в усадочный цилиндр, фиксирует все его деформации от изменения температуры и влажности.

Как показывает опыт натурных наблюдений в стволах, одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование нагрузок на крепь, является температура замороженных околоствольных пород. Поэтому в замерных станциях необходимо предусмотреть 2-3 температурных датчика в породном массиве и столько же в бетонной части крепи. Струнные термометры в породе размещаются в шпурах, пробуренных на глубину 20-50 см от породного контура (см. рис. 2.1).

## 2.2. Основные технические характеристики применяемых приборов и аппаратуры

Для получения надежных экспериментальных данных в замерных станциях применяются серийно выпускаемые датчики деформаций и температур, апробированные при многолетних наблюдениях. Таковыми в настоящее время являются датчики, выпускаемые Киевским специализированным предприятием Спецэнергоавтоматика, ПДС-40 (преобразователь линейных деформаций струнный) и ПТС-60 (преобразователь температур струнный). Принцип их действия основан на зависимости собственной частоты свободных колебаний струнного резонатора от его натяжения. Резонатор приводится в колебательное движение с помощью возбуждателя колебаний, представляющего собой электромагнитное устройство. Оно является обратным, т.е. используется как для подачи импульса, так и для приема затухающих свободных колебаний (сигналы вопроса и ответа передаются по одной и той же линии). Изменение базового расстояния в результате деформации крепи приводит к изменению усилия натяжения струнного резонатора и изменению собственной частоты его колебаний, которая измеряется вторичным регистрирующим прибором. По изменению частоты судят об измеряемой деформации. Зависимость между измеряемой деформацией и выходным сигналом для каждого датчика индивидуальна и определяется градуировочной характеристикой вида

$$y = Ax^2 + Bx + C,$$

где  $y$  - значение измеряемой деформации в относительных единицах, определяемое отношением абсолютной деформации к базе датчика;  $z$  - значение информативного параметра выходного сигнала (частоты преобразователя (показание вторичного прибора), Гц;  $A, B, C$  - постоянные коэффициенты, определяемые по результатам тарировки датчика на заводе-изготовителе.

#### Основные технические характеристики преобразователей ПДС

Пределы измерения деформаций, $\times 10^{-6}$ . . . . .	0,5-2,0
датчики преимущественно сжатия . . . . .	0,5-2,0
датчики преимущественно растяжения . . . . .	2,0-0,5
Градуировочная характеристика . . . . .	Индивидуальная
Предел допускаемой основной погрешности, приведенный к диапазону измерений, %, не более . . . . .	$\pm 2$
Вариация выходного сигнала, приведенная к диапазону измерений, %, не более . . . . .	I
Перепад частот при измерении деформации от нижнего до верхнего пределов измерений (девиация частоты), Гц . . . . .	$1000 \pm 200$
Исполнение преобразователя по отношению к рабочим средам и окружающей среде . . . . .	Водозащищенный, герметичный
Допускаемое внешнее давление окружающей среды, МПа . . . . .	3
Исполнение преобразователя по устойчивости к механическому воздействию окружающей среды . . . . .	Обыкновенное
Параметры импульсов запроса (возбуждения):	
напряжение, В . . . . .	$150 \pm 16$
длительность, мкс . . . . .	0,5 - I
полярность . . . . .	Любая
Длина входных проводов (кабеля), м, не менее . . . . .	0,5
Средний срок службы, лет . . . . .	10
Длина (без учета кабеля), см . . . . .	51,2
Масса, кг . . . . .	2,0

По аналогичному принципу работают датчики температур ПТС-60, диапазон измерения которых находится в пределах от минус 20 до плюс 60°C.

Снятие показаний датчиков ПДС-40, ПТС-60 производится дистанционно с помощью контрольно-измерительных приборов типа ЦС-5М, ЦСД, "Струна-10", ПИИ-1.

Многослойная комбинированная крепь возводится по совмещенной схеме. Сначала монтируются несколько колец внешней тубинговой колонны, благодаря чему создается заходка для навески тубингов вну-

третней колонны, рис. 2.5. При этом кольца внешней тябиной -  
вой колонны выполняют функцию временной крепи и воспринимают нагруз-  
ку, величину которой необходимо измерять. Однако проводить за-  
меры струнными датчиками не позволяет сварные работы. В этом слу-  
чае рекомендуется применять методику измерения деформаций по замер-  
ным базам съемными индикаторными приборами, разработанную ЦНИИС[4].

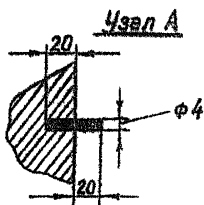
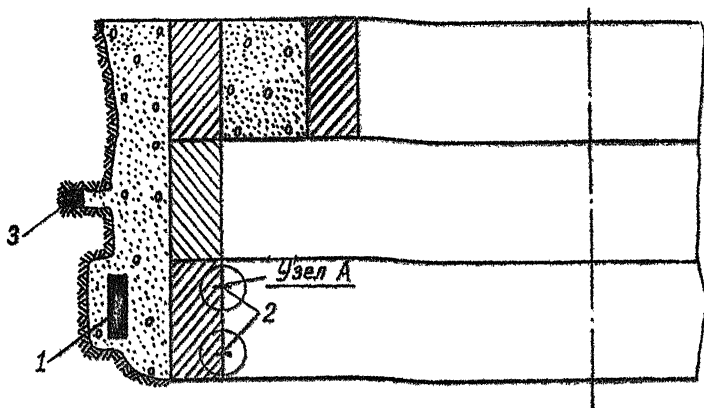


Рис. 2.5. Размещение прибо-  
ров и замерных баз на внешней  
колонне в период ее раздельной  
работы:

- 1 - диаметрический баз -  
лон;
- 2 - маяки замерной базы;
- 3 - температурный датчик

Суть методики заключается в том, что в опанки и ребра местности  
тябинов запрессовываются маяки-стержни, расстояние между которыми  
(база) периодически, по мере нагружения тябинга, измеряется опти-  
чальными индикаторными приборами с точностью до 0,01 мм, рис. 2.6.  
Разность показаний между измерениями составляет абсолютную дефор-  
мацию тябинга  $\Delta l$ . В качестве маяков используют цилиндричес-  
кие ролики от подшипников диаметром 4 мм в длиной 40 мм (см. рис. 2.5,  
узел А).

Отверстия под маяки сверлятся пневмокдрелью по шаблону. Диаметр



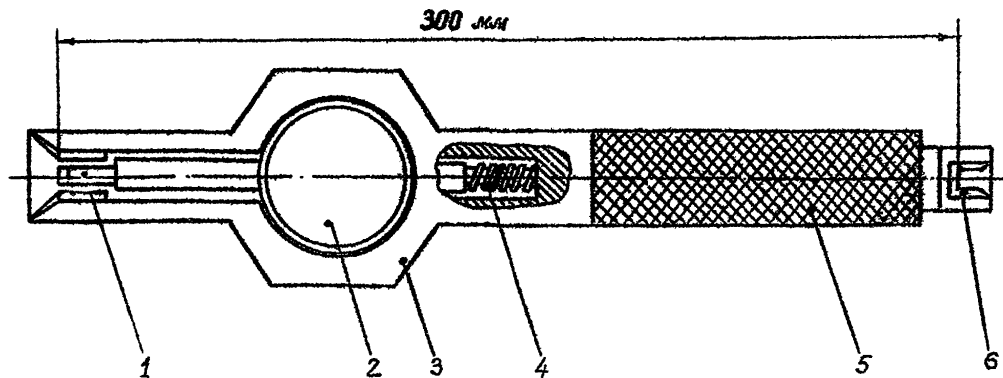


Рис. 2.6. Съемно-индикаторный прибор конструкции ПНИС:

1 - подвижной нож; 2 - индикатор часового типа; 3 - корпус; 4 - пружина; 5 - ручка;  
6 - неподвижный нож

сверла 3,8 мм.

Основное достоинство этого способа измерений — простота, надежность, возможность оперативно и наиболее полно исследовать тот или иной участок крепи установкой необходимого количества (практически без ограничения) измерных баз. Основным недостатком является ограниченное время наблюдения, так как по мере углубления отвала место наблюдения становится труднодоступным.

Измерение контактных нагрузок на крепь производится динамометрическими датчиками (баллонами). В баллоне конотруссии ИЮТЭМ, заполненном трансформаторным маслом, в качестве измерительного элемента используется струнный датчик давления ПДС, который работает по такому же принципу, как датчики ПДС и ПТС.

### 2.3. Монтаж измерительной сети в лабораторных условиях

Монтаж приборов замерной станции перед закладкой их в крепь отвала производится в лаборатории согласно проекту, утвержденному в организации, разрабатывающей проект проходки и крепления отвала. В проекте установки измерных станций должны быть отражены: перечень применяемых датчиков и аппаратуры с указанием завода-изготовителя, требуемого количества, стоимости; расположение измерительных групп и конкретные места установки датчиков в крепи и породе; ориентировочные глубины расположения измерных станций с указанием типа пород.

Монтаж замерной станции в лаборатории начинается с отбора датчиков ПДС, ПТС, ПДС. Одновременно с этим отбираются паспорта датчиков, в которых приведены их индивидуальные характеристики. Дальнейший состав работ следующий:

1. Отобранные датчики раскладываются по группам согласно проекту установки замерной станции. Например, в двухслойной крепи группа состоит минимум из семи датчиков. В том числе — три деформометра в бетоне (в радиальном, тангенциальном, вертикальном направлениях); два на тубингах (тангенциальном и вертикальном направлениях); два температурных датчика (один в бетоне, другой — в породе). Таких групп необходимо предусмотреть не менее трех.

2. Маркировка разложенных по группам датчиков, т.е. на корпус каждого датчика краской наносится номер группы, место расположения, направление измеряемой деформации, например, **Гр. I, бетон,  $E_s$**  или **Гр. I, тубинг,  $E_H$**  и т.д. При этом в специальный журнал (приложение) заносится номер каждого датчика и все данные маркировки.

3. Наравливание двухжильных кабелей от датчиков в группах и вынос

дному многожильному. Длины кабелей от различных групп датчиков вы-  
 бираются таким образом, чтобы при монтаже измерной станции в ство-  
 ле группы располагались равномерно по периметру ( см. рис. 2.1 ).

На ствол датчик-кабель одеваются пластиковые трубки длиной  
 10 см и заливаются эпоксидной смолой.

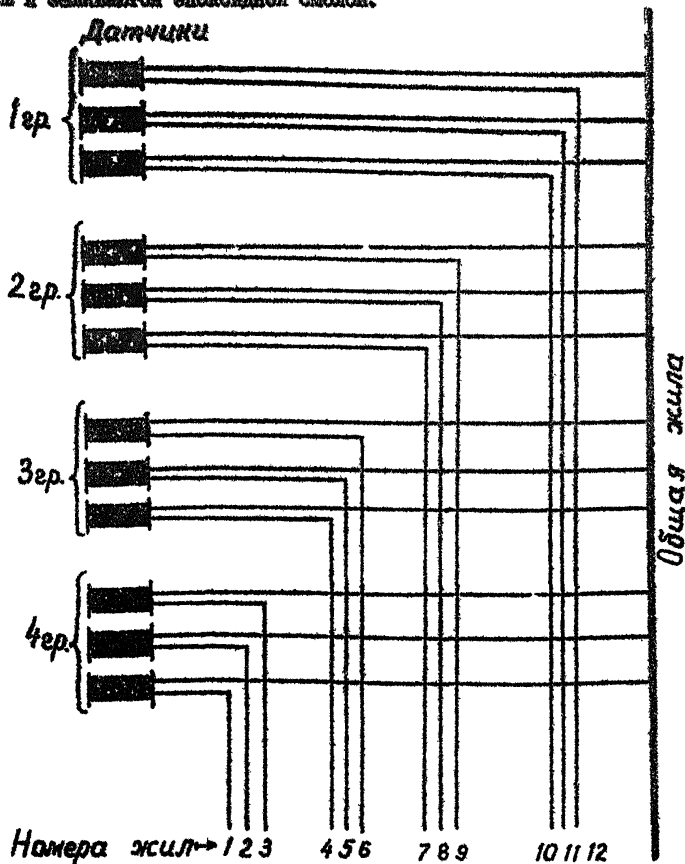


Рис. 2.7. Принцип присоединения датчиков к выводному  
 многожильному кабелю

4. Стыковка соединительных кабелей от группы к вводному многожильному. На рис. 2.7 показан принцип стыковки. Здесь од из двух жил от датчика идет на обшив жилу вводного кабеля, а вторая присоединяется к одной из жил вводного кабеля. При этом номер датчика и номер соответствующей ему жилы записываются в специальный журнал ( см. приложение ). После присоединения всех кабелей от датчиков к вводному на место соединения одевается муфта из пластмассовой трубы диаметром 8-10 см, которая заливается эпоксидной смолой.

После завершения этих операций вторичным прибором ПИИ-1 производится проверочное снятие показаний через жилы вводного кабеля.

Одновременно с указанным монтажом датчиков в производственных мастерских изготавливаются приспособления, необходимые для монтажа замерных станций в стволе: клещевые щипцы для закручивания жил вводного кабеля, металлическая и резиновая трубы для усадочного цилиндра, кронштейны для закрепления датчиков деформаций в затюбированном пространстве в тангенциальном, радиальном и вертикальном направлениях. Для введения из-за кривизны многожильных кабелей от датчиков деформаций и динамометрических баллонов необходимо просверлить по оси две тампонажные пробки. Диаметр отверстий должен быть на 2-3 мм больше диаметра многожильного кабеля.

Подготовка замерной станции заканчивается заливкой трансформаторного масла в динамометрические баллоны и проверкой их работоспособности снятием показаний с датчиков давления ПДС, устанавливаемых в баллонах. После этого все датчики и аппаратура укладываются в ящики для транспортировки к месту установки.

#### 2.4. Установка замерной станции в стволе

Монтаж замерной станции на участке предполагаемой двухлопной тубинг-бетонной крепи начинается после обнажения породной стенки перед навеской тубингов. После спуска в ствол датчиков и аппаратуры производится их раскладка в забое по периметру ствола и обозначение конкретных мест расположения в крепи. Сначала на породной стенке размещаются динамометрические баллоны. Они закрепляются анкерами, установленными в шпурах, пробуренных в породной стенке, и производится их присоединение к отдельному вводному многожильному кабелю. Далее, в местах расположения датчиков деформаций бурятся шпуры и в них закрепляются специальные кронштейны, на которых устанавливаются датчики. После ориентировки по направлениям они жестко привязываются проволокой к кронштейну. Часть температурных дат-

чиков устанавливается в породе в горизонтальных шпурах, которые забиваются просмоленной ветошью, чтобы исключить проникновение к датчикам жидкого бетона. Датчики температур для бетона прикрепляются к кронштейнам вместе с деформометрами. Усадочный цилиндр устанавливается в породной стенке ствола вертикально, чтобы при бетонировании заходки бетон свободно заполнял цилиндр ( см. рис. 2.4 ).

Фиксация деформометров на опинке тубингов производится электросваркой в период монтажа тубингов в кольцо.

Одновременно с навеской тубингов производится вывод многожильных кабелей от динамометрических баллонов и деформометров в специально просверленные тампонажные пробки тубингов. Затем производится закрепление к этим пробкам клеммных щитков и присоединение жил кабелей к клеммам. После завершения монтажа тубингов в кольцо производится контрольное измерение показаний по установленным в стволе датчикам. Следующий замер (начальный) - после бетонирования затрубного пространства. В период бетонирования на опинках и ребрах закрепленных тубингов наносятся замерные базы ( см. рис. 2.2 ) для дублирования показаний струнных дистанционных датчиков.

Монтаж замерной станции в трехслойной тубинг-бетон-тубинговой крепи производится в два этапа. Первый этап - установка динамометрических баллонов и датчиков температуры в околоствольном массиве пород. После выемки пород на заходку крепления производится навеска на породной стенке динамометрических баллонов и вывод их кабелей через тампонажные отверстия тубингов внешней колонны. Одновременно с этим в породе (в шпурах) устанавливаются датчики температуры, кабели от которых также выводятся в ствол через тампонажные отверстия тубингов. После навески тубингов внешнего ряда, в период выполнения бетоном зазора между тубинговым кольцом и породой, производится нанесение на тубинги внешней колонны замерных баз для измерения деформаций крепи в период ее раздельной работы. После бетонирования продолжают работы по выемке пород и креплению еще нескольких колец внешней колонны, создавая тем самым заходку для крепления тубинговыми кольцами внутреннего ряда ( см. рис. 2.5 ). В этот период наблюдение за давлением пород и деформацией крепи производится по динамометрическим баллонам и замерным базам.

Второй этап - монтаж датчиков на тубингах внешнего и внутреннего ряда и в междуконном пространстве ( см. рис. 2.2 ). Перед навеской тубингов внутреннего ряда производится фиксация свар-

кой датчиков деформаций к горизонтальным и вертикальным ребрам жесткости тубингов внешней колонны. К болтам тубингов внешней колонны привариваются специальные кронштейны, на которых в вертикальном, радиальном, тангенциальном направлениях жестко закрепляются датчики для измерения деформаций в бетонном заполнении. Одновременно с этим производится соединение кабелей от датчиков температуры и динамометрических баллонов, установленных за внешней колонной, с выводным многожильным кабелем. После завершения этих работ начинается монтаж тубингов внутренней колонны. В этот период оставшиеся датчики деформаций фиксируются сваркой к опинкам соответствующих тубингов внутренней колонны и производится вывод многожильных кабелей от динамометрических баллонов и струнных датчиков из-за крепи через отверстия в тампонажных пробках. После закрепления клеммных щитков и присоединения к ним жил снимаются показания по всем установленным в крепи датчикам. Одновременно на нескольких тубингах внутреннего ряда закрепляются маяки для замерных баз, которые дублируют показания датчиков на внутренней колонне тубингов. После навески тубингов внутренней колонны по периметру крепи в забое устанавливается поддон и бетонится пространство между тубинговыми колоннами. Затем снимаются показания по всем датчикам и замерным базам. При этом для датчиков, установленных в бетоне и на тубингах внутренней колонны, показания будут начальными, а для датчиков, установленных за внешней колонной, продолжатся измерения, начатые на первом этапе установки замерной станции.

Работы по закладке замерных станций завершаются тщательным измерением радиусов крепи от центрального отвеса. Впоследствии, на этих отметках радиусы должны быть измерены неоднократно в период гидроизоляции и армирования. Полученные величины радиусов ствола позволяют определять характер формирования нагрузок на крепь по периметру ствола.

## 2.5. Проведение наблюдений на замерных станциях

Трудность организации натуральных наблюдений в вертикальных стволах заключается в том, что по мере углубления ствола места наблюдений становятся труднодоступными. Применять многожильный кабель для дистанционного снятия показаний в первое время не удается по той причине, что при взрывных работах он будет нарушен. Присоединение к выводному клеммному щитку магистрального кабеля возможно только после удаления забоя от установленных в крепи замерных станций на 20-30 м. За этот период (примерно около месяца) формирова-

ние нагрузок на крешь, в основном, будет завершено. Поэтому, чтобы не упустить информацию о деформировании крешь в начальный период, показания датчиков сначала необходимо снимать с проходческой бады. Потом, когда ствол будет углублен на 10-15 м, показания приборов снимаются с проходческого полка. Затем сверху по стволу прокладывается или навешивается на тросе многожильный магистральный кабель, что позволяет в дальнейшем проводить измерения с поверхности земли. Частота проведения замеров по датчикам, установленным в крешь, определяется характером нагружения крешь. В период активного роста нагрузок показания необходимо снимать через 2-3 дня. После стабилизации нагрузок — один раз в месяц.

### 3. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ

#### 3.1. Обработка результатов наблюдений

Все результаты наблюдений заносятся в специальный журнал (см. приложение).

Вторичный прибор ПЦ-1 выдает периоды колебания струны в микросекундах (мкс), по которым находят соответствующие величины частот колебаний струн датчиков. Затем, по индивидуальным тарировочным характеристикам (см. рис. 2.2) определяют соответствующие величины деформаций, температуру и давление. Частные значения деформаций крешь определяют как разность

$$\varepsilon_i = \varepsilon_n - \varepsilon_0, \quad (3.1)$$

где  $\varepsilon_i$  — величина деформаций крешь на  $n$ -е сутки после установки датчиков;  $\varepsilon_0$  — начальные показания датчиков после установки в крешь;  $\varepsilon_n$  — показания датчиков на  $n$ -е сутки работы.

При определении деформаций бетонной части крешь необходимо учитывать собственные температурно-усадочные деформации бетона. При этом из измеренных в бетоне деформаций вычитаются деформации датчика, установленного в усадочном цилиндре со своими знаками, т.е.

$$\varepsilon_{бет} = \varepsilon_{изм} - \varepsilon_{усад}, \quad (3.2)$$

где  $\varepsilon_{бет}$  — деформации бетонной крешь;  $\varepsilon_{изм}$  — измеренная в крешь общая величина деформации;  $\varepsilon_{усад}$  — измеренные в усадочном цилиндре собственные деформации бетона.

На рис. 3.1. показаны графики  $\varepsilon = f(t)$  для усадочных и измеренных деформаций бетонной крешь ствола № 2 на глубине 17 м. Оба дат-

чки работают на растяжение. В результате расчета по формуле (3.2) получим  $\varepsilon_{\text{ср}} = (2,7 - 6) \cdot 10^{-5} = -3,3 \cdot 10^{-5}$ , т.е. бетонная крепь работает на сжатие (девятнадцать суток наблюдения).

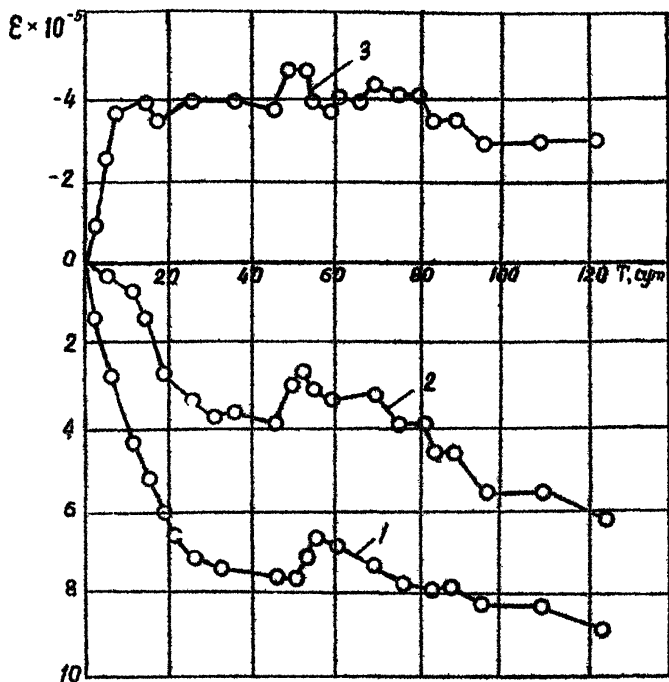


Рис. 3.1. Графики деформаций бетонной крепи в отвале № 2: 1 - температурно-усадочные; 2 - измеренные общие; 3 - от приложенной к крепи нагрузки

Из рис. 3.1. наглядно видна роль учета усадочных деформаций бетона в крепи при натуральных наблюдениях.



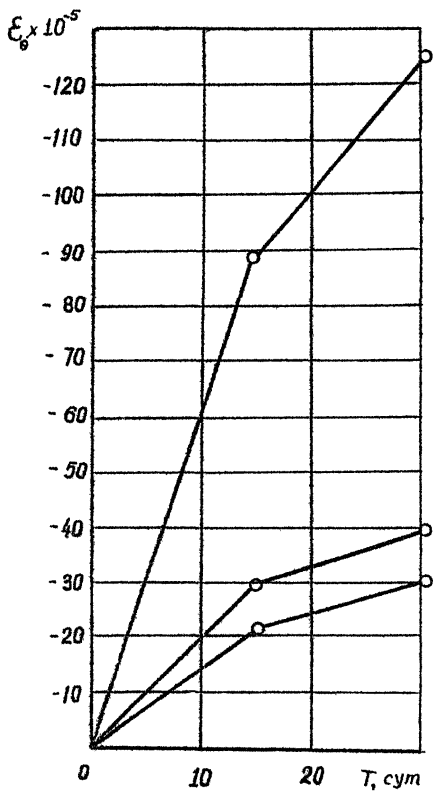


Рис. 3.2. Графики деформаций тубингов внешней колонны в период совместной работы колонн на глубине 496 м (ствол № 2)

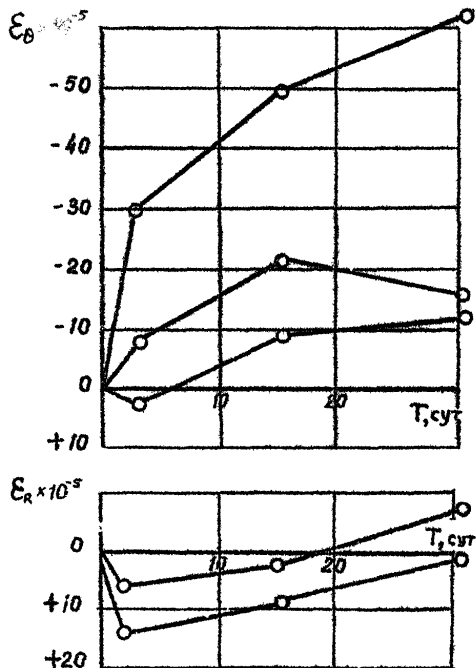


Рис. 3.3. Графики деформаций междушовного бетона на глубине 496 м (отвост № 2)

По измерениям в креще параметрам необходимо построить графики деформаций  $\epsilon = f(t)$ , давлений  $P = f(t)$ , температур  $T = f(t)$ . На рис. 3.2 - 3.4 показаны графики  $\epsilon = f(t)$  для замерной станции на глубине 496 м в отводе № 2 Яковлевского рудника.

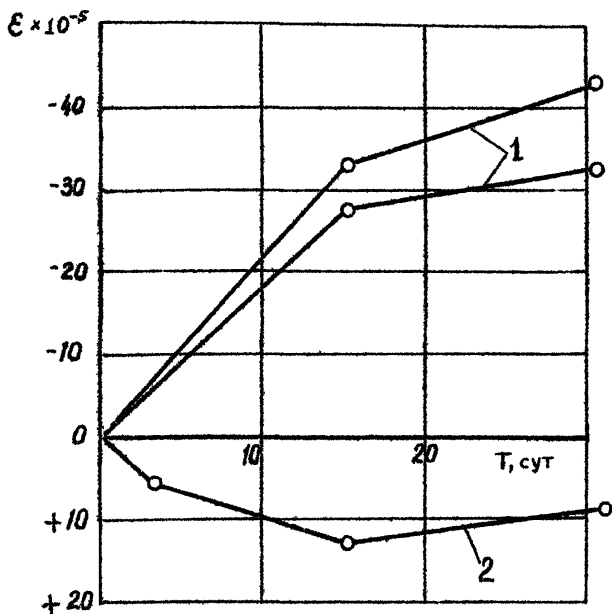


Рис. 3.4. Графики деформаций внутренней колонны на глубине 496 м (ствол № 2):  
 1 - тангенциальные деформации  $\epsilon_e$ ; 2 - вертикальные деформации  $\epsilon_n$

Обработка результатов измерений по замерным базам производится следующим образом. Начальные показания по замерным базам снимаются после монтажа твистига в стволе, последующие - с проходческого поля или бады.

В табл. 3.1 приведены результаты измерения деформаций на твистиговом кольце № 350 в стволе № 3. Средняя величина  $\epsilon$  по трем приведенным датам составила соответственно  $80,6 \cdot 10^{-5}$ ;  $106,6 \cdot 10^{-5}$ ;  $0,114 \cdot 10^{-5}$ .

Таблица 3.1

Номер тубинга	30.09.80	8.10.80		21.10.80		31.10.80	
	начальное показание индикато- ра	показание индикато- ра	$\Delta \ell$ , мм	показание индикато- ра	$\Delta \ell$ , мм	показание индикато- ра	$\Delta \ell$ , мм
2	2,62	2,80	0,18	2,86	0,23	2,87	0,25
6	3,59	3,84	0,25	3,90	0,31	3,92	0,33
7	6,44	6,68	0,24	6,77	0,33	6,80	0,36
8	1,90	2,18	0,28	2,30	0,40	2,32	0,42
9	2,08	2,32	0,26	2,39	0,33	2,42	0,36
Средние величины	-	-	0,24	-	0,32	-	0,34

Из табл. 3.1. видно, что абсолютные деформации крепи находятс я вычитанием показаний, измеренных на  $i$ -е сутки, от начальных величин, измеренных до начала нагружения крепи. Величины относительных деформаций определяются делением абсолютных деформаций на величину базы измерений, т.е. на 300 мм.

Следующий этап обработки результатов - вычисление напряжений по измеренным деформациям. Предварительно необходимо уредить величины деформации крепи, измеренные в одном направлении, но в различных местах по периметру ствола.

Напряжения в тубингах определяются по диаграммам  $\varepsilon = f(\sigma)$ , полученным на заводе-изготовителе тубингов в результате испытания образцов из чугуна соответствующей марки. Напряжения в бетонной части крепи вычисляются с учетом объемного напряженного состояния бетона по зависимостям [8,10]

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\theta} &= \frac{1}{E} [\sigma_{\theta} - \mu(\sigma_R + \sigma_H)]_i \\ \varepsilon_R &= \frac{1}{E} [\sigma_R - \mu(\sigma_{\theta} + \sigma_H)]_i \\ \varepsilon_H &= \frac{1}{E} [\sigma_H - \mu(\sigma_{\theta} + \sigma_R)]_i \end{aligned} \right\} (3.3)$$

Окончательные выражения для определения напряжений в бетоне при постоянном значении  $\mu_{бет} = 0,167$  имеют вид:

$$\sigma_{\theta} = E \left[ \varepsilon_{\theta} + 0,25(\varepsilon_{\theta} + \varepsilon_R + \varepsilon_H) \right]_i$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_R &= E [\varepsilon_R + 0,25(\varepsilon_\theta + \varepsilon_R + \varepsilon_H)]; \\ \sigma_H &= E [\varepsilon_H + 0,25(\varepsilon_\theta + \varepsilon_R + \varepsilon_H)]. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Определение величин и направлений главных деформаций в горизонтальном сечении бетонной крени производится по формуле [5]:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_\theta + \varepsilon_R}{2} \pm \sqrt{(\varepsilon_\theta - \varepsilon_{45^\circ})^2 + (\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_R)^2}; \quad (3.5)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_R + \varepsilon_\theta)}{\varepsilon_\theta - \varepsilon_R},$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - главные деформации в сечении крени;  $\varepsilon_\theta, \varepsilon_R, \varepsilon_{45^\circ}$  - измеренные деформации в крени;  $\varphi$  - угол наклона главной оси деформаций к тангенциальному направлению в сечении крени, отсчитываемый против часовой стрелки.

Величины касательных деформаций  $\gamma$  и напряжений  $\tau$  определяются соответственно по формулам:

$$\gamma = 2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_\theta + \varepsilon_R); \quad \tau = G\gamma. \quad (3.6)$$

После определения напряжений во всех слоях крени необходимо переходить к оценке и анализу величин контактных нагрузок на крешь.

### 3.2. Анализ результатов натуральных наблюдений

Для сравнительного анализа результатов измерений в различных элементах крени (внешней и внутренней твинговых колоннах и междуколонном бетоне) необходимо определять вызвавшие их нагрузки на наружную поверхность внешней колонны.

Из теории упругости известно, что в цилиндрических оболочках при равномерном внешнем нагружении наибольшими являются тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta$ . Поэтому, при расчете величин контактных нагрузок на крешь по измеренным в крени напряжениям необходимо использовать измеренные величины  $\varepsilon_\theta$ .

Расчет нагрузок производится по формулам, полученным на основании общих соотношений метода расчета многослойных систем проф. Н.С. Булычева [1, 2, 9].

При этом для трехслойной твинг-бетон-твинговой крени расчет ведется в два этапа. На первом этапе - по деформациям, измеренным только на внешней колонне в период ее раздельной работы, на втором -

по деформациям всех слоев в период их совместной работы

Исходными данными для расчета на первом этапе являются радиусы слоев внешней колонны  $R_4, R_5, R_6$  (см.); размеры горизонтальных ребер жесткости и вертикального межреберного расстояния  $a_5, b_5$ .

Начальные радиальные нагрузки определяются по формуле

$$P_{нач} = \frac{G_{\theta}|_{r=R_5}}{m_{1(5)} - K_{\alpha(5)} m_{2(5)}}, \quad (3.7)$$

где  $G_{\theta}$  - напряжение в спинке тисбигов внешней колонны в период ее раздельной работы, МПа;  $m_{1(5)}, m_{2(5)}$  - коэффициенты, характеризующие геометрические параметры внешней колонны;  $K_{\alpha(5)}$  - коэффициент передачи нагрузок через спинку внешней колонны в период раздельной работы.

Второй этап расчета - совместное деформирование всех слоев крени. Исходными данными на этом этапе являются (рис. 3.5) высота горизонтальных ребер жесткости  $a_1, a_3, a_5$  (см.); радиусы слоев крени  $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$  (см.); высота межреберного расстояния  $b_1, b_3, b_5$  (см.); модуль упругости материалов слоев крени  $E_{чуг}, E_{бет}$  (МПа); коэффициенты Пуассона материалов слоев крени  $\mu_{чуг}, \mu_{бет}$ .

Расчет контактных нагрузок на внешний контур крени производится по напряжениям, измеренным во внешней тисбиговой колонне в период совместной работы  $G_{\theta}|_{r=R_4}$ , в междуконном бетоне  $G_{\theta}|_{r=R_4}^{бет}$ , во внутренней колонне тисбигов  $G_{\theta}|_{r=R_3}$  по следующим формулам [1, 2, 9]:

$$\begin{aligned} P' &= \frac{G_{\theta}|_{r=R_4}}{K_{\alpha(5)} \left[ \left( 1 - \beta_5 \frac{b_5}{a_5} \right) m_{1(5)} - m_{2(5)} K_{\alpha(5)} \right]}; \\ P'' &= \frac{G_{\theta}|_{r=R_4}^{бет}}{K_{\alpha(5)} K_{\alpha(5)} (m'_{1(4)} - K_{\alpha(4)} m'_{2(4)})}; \\ P''' &= \frac{G_{\theta}|_{r=R_3}}{K_{\alpha(5)} K_{\alpha(5)} K_{\alpha(4)} \left[ \left( 1 + \beta_5 \frac{b_5}{a_5} \right) m_{1(5)} - K_{\alpha(5)} m_{2(5)} \right]}, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $P', P'', P'''$  - соответствующие нагрузки на внешний контур крени;  $K_{\alpha(5)}, K_{\alpha(4)}, K_{\alpha(3)}, K_{\alpha(2)}$  - коэффициенты передачи нагрузок через 6-й, 5-й, 4-й, 3-й слой крени (см. рис. 3.5, Б);  $m_{1(5)}, m_{2(5)}$  - коэффициенты, характеризующие геометрические параметры 5-го слоя крени;  $m'_{1(4)}, m'_{2(4)}$  - то же, 4-го слоя крени;  $m_{1(5)}, m_{2(5)}$  - то же.

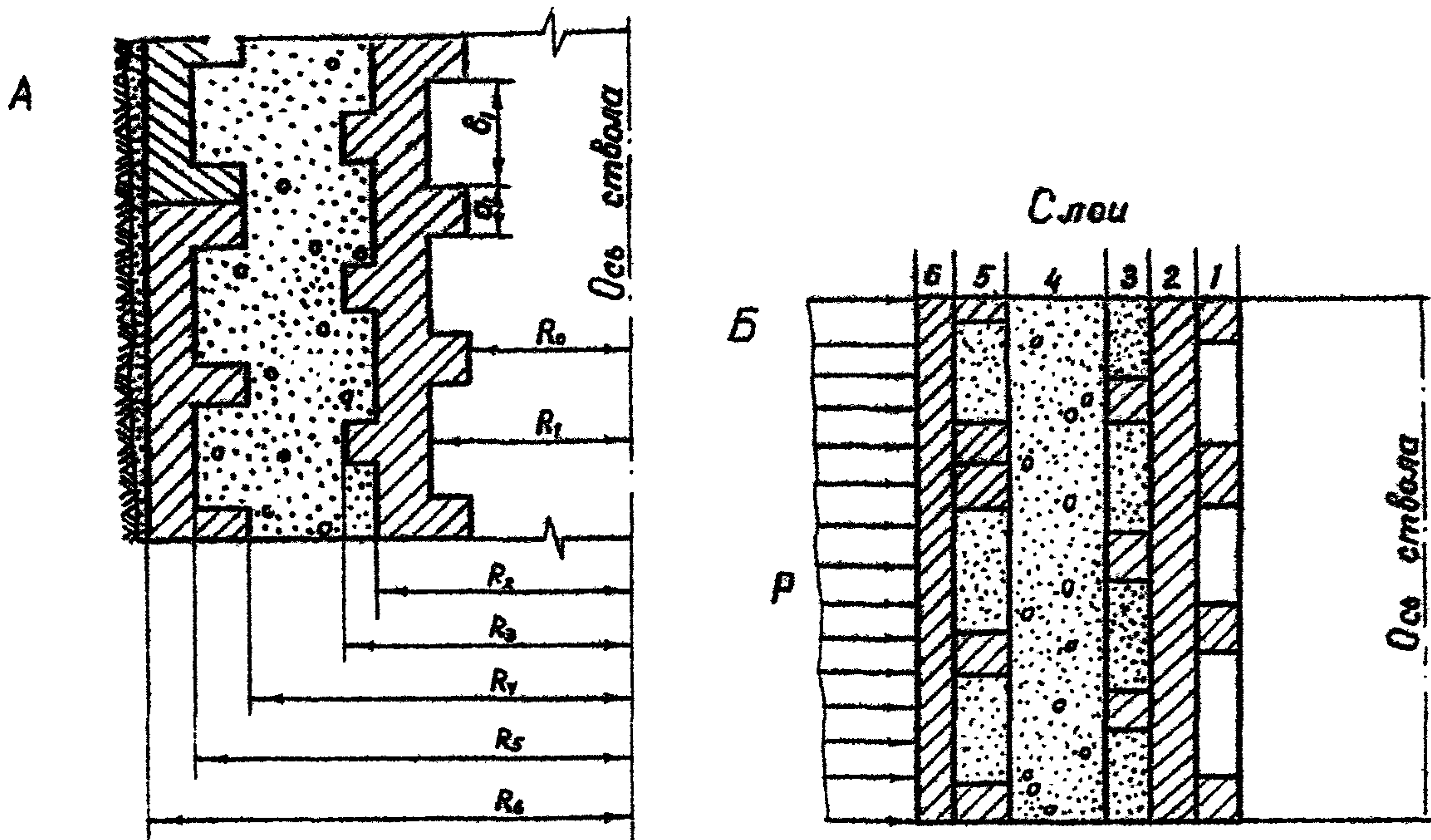


Рис. 3.5. Фактическое сечение тоннельно-бетонно-тоннельной крепи (А)  
и ее расчетная схема (Б)

3-го слоя крепи;  $\rho_3, \rho_5$  - коэффициенты, характеризующие неоднородность 3-го и 5-го слоев крепи.

Полная нагрузка на крепь представляет собой сумму начальной и основной нагрузки:

$$P_{полн} = P_{нач} + P_{осн}. \quad (3.9)$$

Основная нагрузка  $P_{осн}$  - среднеарифметическая величина нагрузок, полученная расчетом по формулам (3.8),

$$P_{осн} = \frac{\rho' + \rho'' + \rho'''}{3}. \quad (3.10)$$

В табл. 3.2 приведены некоторые результаты натурных наблюдений и расчета контактных нагрузок по ним для ствола № 2 в интервалах крепления ствола трехслойной крепью.

Таблица 3.2

Глубина, м	Проклада- тельность наслоения, сут	Внешняя ко- лонна в пе- риод разде- льных работ		Совместная работа всех слоев								$P_{полн}$ , МПа
		$\sigma_{\theta r, R_2}$ МПа	$P_{нач}$ , МПа	Напряжения в кре- пях, МПа			Нагрузка на крепь, МПа					
				$\sigma_{\theta r, R_1}$	$\sigma_{\theta r, R_2}^{бет}$	$\sigma_{\theta r, R_3}$	$\rho'$	$\rho''$	$\rho'''$	$P_{осн}$		
471	60	90	2,08	70	12,5	80	6,35	6,44	6,21	6,3	3,38	
496	34	146	3,94	50	11,0	57	4,55	5,65	4,43	4,9	8,84	
541	152	130	3,12	65	10,7	68	5,91	5,50	5,28	5,6	8,72	

Полученные косвенным методом полные величины контактных нагрузок сравниваются с величинами давлений, измеренными динамометрическими баллонами. Следует отметить, что существующие типы конструкций динамометрических баллонов при больших величинах давлений на крепь выходят из строя. Так, в стволе № 2 Язовлевого рудника динамометрические баллоны конструкции НИИИИ выдерживали давление 1,8 МПа. В стволе № 1 баллоны конструкции НИИИИИ выдерживали нагрузку 3 МПа, в то время как наибольшая величина нагрузок по измерениям в крепи деформациям оставила 12 МПа. Таким образом, в шахтных стволах, сооружаемых в сложных горно-геологических условиях, наиболее надежным методом проведения натурных наблюдений является измерение деформаций слоев крепи. Применение динамометрических баллонов существующих в настоящее время конструкций возможно на глубине до 300 м.



Анализ результатов измерений необходимо производить с учетом температурного режима околоствольных пород. При этом соответствующие графики нагрузок и деформаций сопоставляются с температурными графиками. Наряду с натурными наблюдениями необходимо в лабораторных условиях изучать прочностные и реологические свойства соответствующих типов замороженных пород.

При анализе результатов натуральных наблюдений необходимо применять ЭМ. В настоящее время наиболее корректной является программа РК-2, разработанная в Тульском политехническом институте. При расчете по этой программе тубинг-бетонная креш представляется как многослойный цилиндр, включающий периодические неоднородности (см. рис. 3.5, Б).

#### 4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛАХ ШАХТ

Проведение натуральных наблюдений в стволах производится только на основании проекта, который должен быть утвержден в организации, выполняющей общий проект сооружения ствола, и согласован с непосредственным исполнителем работ по проходке и креплению стволов. Лица, проводящие наблюдения, должны быть ознакомлены с этим проектом, а также пройти соответствующий инструктаж по технике безопасности на шахтостроительном участке. При проведении работ по монтажу датчиков в стволе, наблюдению за смещением пород должны соблюдаться Единые правила безопасности при сооружении вертикальных выработок. Особое внимание следует обратить на момент съемки показаний по струнным датчикам с поверхности. При этом в ствол подается импульс 150В. Поэтому при зарядке шпуров в забое категорически запрещается производить снятие показаний по струнным датчикам, так как это может привести к преждевременному взрыву установленных в шпурах зарядов ВВ.

Все работы по монтажу датчиков в креш должны выполняться шахтостроителями под непосредственным руководством представителя НИИ. Сборку тубингов в кольцо с закрепленными на них датчиками необходимо производить таким образом, чтобы не вывести из строя сами датчики. Все монтажные провода, растянутые по периметру ствола, анкерами закрепляются к породной стенке ствола.

Лица технического надзора обязаны производить периодический осмотр клеммных щитов и при обнаружении их разрушения поставить в известность представителя НИИ для проведения восстановительных работ.

## Л и т е р а т у р а

1. Булчев Н.С., Абрамсон Х.И. Крепь вертикальных стволов шахт. М., Недра, 1978, 300 с.
2. Булчев Н.С. Механика подземных сооружений. М.; Недра, 1982, 272 с.
3. Взаимодействие массивов горных пород с крепью вертикальных выработок. М., Недра, 1966, 314 с. Авт.: Г.А.Крупеников, Н.С.Булчев, А.М.Ковал и др.
4. Гельман Я.Г., Бодров Б.Н. Напряженное состояние сборных тоннельных обделок метрополитена. - Сб. статей Всесоюз. науч. исслед. института транспорт. строительства, № 31. М., 1959, с. 48-59.
5. Мишедченко А.Д. Техника замораживания горных пород при проходе шахтных стволов в ПНР. Рефер. информ. о черадовом опыте. Серия У, вып. 10 (136), 177. М., ЦБНТИ Минмонтажспецстрой СССР, 1977, с. 23-27.
6. Репко А.А. Исследование напряженного и деформационного состояния глинистых пород вокруг призасойной зоны при проходе вертикальных шахтных стволов (на примере Кико-Белозерского месторождения). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Л., ЛПИ, 1970, 24 с.
7. Общие методические положения комплексного исследования проблем горной геомеханики. - В сб.: Горное давление, движение горных пород и методика маркшейдерских работ, вып. 81. Л., НИИМ, 1970, 334 с.
8. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. М., Высшая школа, 1970, с. 288.
9. Сергеев С.В. Исследование работы крепи вертикальных стволов шахт в сложных горно-геологических условиях (на примере стволов Яковлевского рудника КМА). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Л., ЛПИ, 1981, 26 с.
10. Тимошенко С.П., Гере Д.И. Механика материалов. М., Мир, 1976, 670 с.



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Общие положения . . . . .	3
I. Наблюдения за сдвигами породистых пород в процессе проходки . . . . .	4
I.1. Измерение величины конвергенции стенок ствола, вызванной разрушением пород взрывом . . . . .	5
I.2. Наблюдения за смещениями породных стенок ствола в процессе проходки . . . . .	7
I.3. Наблюдения за смещением пород в забое ствола . . . . .	8
2. Сооружение замерных станций в стволе и проведение наблюдений . . . . .	9
2.1. Размещение датчиков в крени ствола . . . . .	9
2.2. Основные технические характеристики применяемых приборов и аппаратуры . . . . .	13
2.3. Монтаж измерительной сети в лабораторных условиях . . . . .	17
2.4. Установка замерной станции в стволе . . . . .	19
2.5. Проведение наблюдений на замерных станциях . . . . .	21
3. Методы обработки и анализа результатов наблюдений . . . . .	22
3.1. Обработка результатов наблюдений . . . . .	22
3.2. Анализ результатов натурных наблюдений . . . . .	28
4. Меры безопасности при проведении натурных наблюдений в вертикальных стволах шахт . . . . .	32
Литература . . . . .	33
Приложение . . . . .	34

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СТВОЛАХ,  
СООРУЖАЕМЫХ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Научный редактор канд. техн. наук Д. А. Лаукин  
Литературный редактор М. П. Елансон  
Технический редактор А. Г. Воронцова  
Корректор М. П. Елансон**

---

Подписано к печати 7 мая 1985 г.  
Объем 1,9 уч.-изд.л. Тираж 190 экз. Заказ № 450.  
Ротапринт НИОГЕМ, Белгород, Б. Хмельницкого, 86.  
Цена 29 коп.