УДК 624.131:551.435

В.Н.ГУСЕВ, Р.Э.ДАШКО, Н.С.ПЕТРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЯКОВЛЕВСКОГО РУДНИКА

На первоочередном участке ведения горных работ Яковлевского рудника выполнено гидрогеомеханическое зонирование, позволившее выделить три зоны разной проницаемости пород толщи, которая отделяет высоконапорный нижнекаменноугольный горизонт от рудно-кристаллического горизонта. Предложены основные подходы к организации гидрогеомеханического мониторинга непосредственно в подземных горных выработках рудника, включающего мониторинг подземных вод и геомеханический мониторинг. Даны методические рекомендации к постановке основных работ, входящих в систему гидрогеомеханического мониторинга.

The hydrogeomechanical zoning on the majority area of mining works at Jakovlevsky high-grade iron ores deposit is completed. It permitted to mark out three zones with various permeability of rocks, which separate the high-head lowcarbonic aquifer from orecristal aquifer. The principal methods of approach to the organization of hydrogeomechanical monitoring directly in workings are suggested. They included both underground water monitoring and hydrogeomechanical monitoring. Methodical recommendations for the organization main works of hydrogeomechanical monitoring are given.

Принципы организации гидрогеомеханического мониторинга в подземных выработках базируются на результатах гидрогеомеханического зонирования, выполненного на площади первоочередного участка горных работ рудника. При проведении подобного зонирования учитывался ряд критериев, определяющих вероятность перетекания вод нижнекаменноугольного горизонта и влияющих на безопасность ведения горных работ.

1. Особенности геолого-литологического строения нижнекаменноугольного водоносного горизонта на участках, где проницаемые известняки этого горизонта залегают непосредственно на богатых железных рудах, обуславливая тем самым прямую гидравлическую связь и сквозную фильтрацию из верхнего горизонта в рудную толщу.

2. Функционирование длительно работающих скважин в полосе, протягивающейся в субширотном направлении вдоль висячего бока, контролируется особенностями залегания известняково-глинистой толщи на богатых железных рудах (БЖР).

3. Присутствие сероводорода в длительно функционирующих скважинах и в капежных водопроявлениях,фиксирующего тесную связь двух водоносных горизонтов. Заметим, что повышенное содержание H_2S в воде свидетельствует о достаточно высокой скорости перетекания, отсутствие H_2S в воде при низком содержании хлор-иона – о длительности периода перетекания подземных вод.

4. Активизация микробной деятельности за счет повышения численности микроорганизмов, поступающих в процессе перетекания в выработки рудника из нижнекаменноугольной известняково-глинистой толщи. Снижение питательных компонентов при разбавлении минерализованных вод рудно-кристаллического горизонта пресными водами из известняков вызывает выделение слизи в процессе жизнедеятельности у ряда микроорганизмов, присутствие которой зафиксировано на стенках некоторых подземных выработок рудника.

С учетом анализа отмеченных критериев и фильтрационной способности пород в

пределах контактного разреза известняково-глинистой толщи выделены три зоны, определяющие интенсивность перетекания воды из нижнекаменноугольного водоносного горизонта в рудно-кристаллический горизонт.

1. Зона повышенной проницаемости защитной толщи (зона наиболее активного перетекания) отмечается на площадях, где на БЖР залегают известняки, характеризующиеся повышенными коэффициентами водопроводимости более 60 м^2/сут. В пределах этой зоны находятся постоянно и длительно функционирующие скважины, отмечается присутствие в водах сероводорода, а также следы деятельности микроорганизмов.

2. Зона средней степени проницаемости (зона средней интенсивности перетекания) фиксируется на площадях распространения глинисто-карбонатной толщи (с преобладанием в разрезе известняков) с варьированием коэффициента водопроводимости 44-56 м^2/сут. В этой зоне отмечается капеж, увлажнение стенок и кровли выработок, выделение слизи, локальные проявления сероводорода в малых количествах.

3. Зона низкой проницаемости (зона наименьшей возможности перетекания) на площади распространения переслаивания глин с известняками (с преобладанием малопроницаемых разностей), характеризующихся малым коэффициентом водопроводимости ниже 40 м^2/сут. Здесь проявляются лишь отдельные водопроявления по визуально фиксируемым трещинам, что обычно связано с тектоническим фактором.

Развитие по площади таких зон в пределах первоочередного участка отработки показано на рис.1.

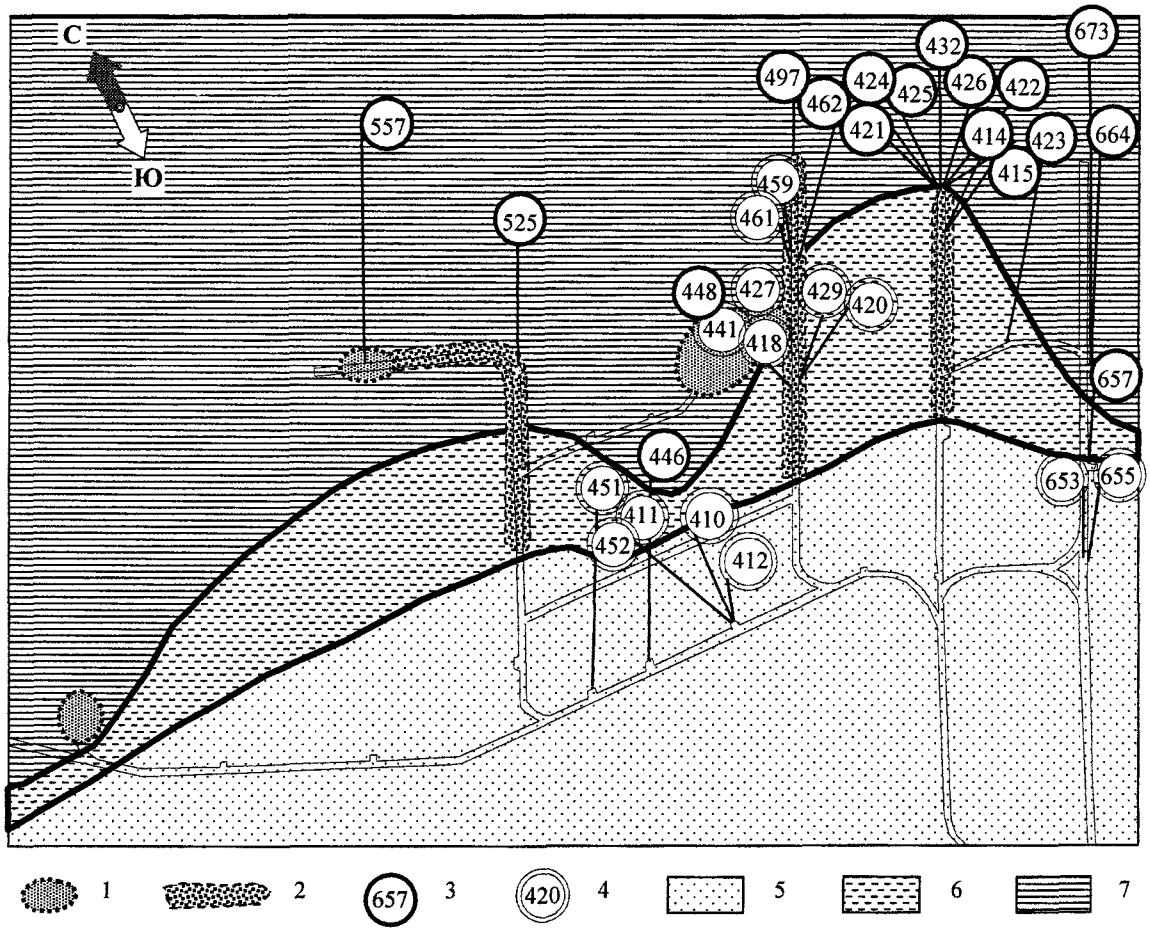


Рис.1. Гидрогеомеханическое зонирование площади развития первоочередных горных работ

1 – участки проявления сероводорода по состоянию на 19.05.05 г.; 2 – участки развития слизи по контуру выработки (микробная пораженность пород); 3 – скважины длительно действующие; 4 – скважины, действовавшие менее года; различная степень проницаемости рудной толщи под нижнекаменноугольным водоносным горизонтом до ведения очистных работ: 5 – малая; 6 – средняя; 7 – повышенная

Данное зонирование выполнено до начала производства очистных работ. По мере развития фронта горных работ, связанных с добычей БЖР, будет наблюдаться разуплотнение пород и руд в защитной толще, что приведет к повышению ее проницаемости и вызовет расширение границ зон с повышенной и средней проницаемостью. Вполне вероятно, что зона с малой проницаемостью будет охватывать только участки развития скальных пород, вмещающих БЖР.

Такое схематическое гидрогеомеханическое зонирование позволяет оценить участки, где возможно развитие нежелательных горно-геологических процессов и явлений, угрожающих безопасности ведения горных работ, в том числе увеличение водопритоков, сопровождающееся оплыванием руд, слабым газопроявлением, ослаблением и смещением пород по контактам и формированием вывалов.

Основная цель гидрогеомеханического мониторинга направлена на прогнозирование и, соответственно, на предупреждение нежелательных последствий ряда горно-геологических процессов и явлений в подземных выработках при разработке месторождения, основными, из которых являются:

- формирование плывунов в неосушенных богатых железных рудах (БЖР), особенно в зонах контактов таких руд с малопроницаемыми породами – сланцами и железистыми кварцитами;
- формирование фильтрационных деформаций в рудах и вмещающих породах;
- вторичное увлажнение осушенных БЖР за счет перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта и формирование куполов подпора над проектируемой бетонной потолочиной;
- образование «заколов», вывалов, обрушение блоков горных пород из кровли и боков горных выработок по неблагоприятно ориентированным поверхностям ослабления и в зонах повышенной трещиноватости горных пород;
- изменение напряженно-деформированного состояния БЖР рудной толщи в зонах ведения очистных работ, создания бетонной потолочины, а также закладки выработанного пространства.

Комплексный гидрогеомеханический мониторинг в подземных выработках Яковлевского рудника условно можно разделить на мониторинг подземных вод, направленный на наблюдения и прогнозные оценки водопроявлений и развитие фильтрационных деформаций, и геомеханический мониторинг, проводимый с целью определения характера деформаций и оценки напряжений в массиве рудных тел и вмещающих пород.

Мониторинг подземных вод. В настоящее время на участке первоочередных работ по добыче БЖР сложилась достаточно стабильная гидродинамическая обстановка. На месторождении отмечается незначительный рост водопритоков в горные выработки, не превышающий 451 $м^3$/ч. При этом суммарный фактический водоприток ко всем действующим скважинам (дренажным, опережающим и разведочным) за 2005 г. изменялся в пределах 150-170 $м^3$/ч, а суммарный расход дренажно-опережающих скважин стремился к некоторой постоянной величине. Незначительные притоки до 14-15 $м^3$/ч фиксировались в скважинах, которые бурились в краевой части депрессионной воронки рудно-кристаллического водоносного горизонта.

Однако высокие напоры в нижнекаменноугольном водоносном горизонте не исключают возможность перетекания подземных вод из этого горизонта в горные выработки месторождения и, соответственно, предопределяют безопасность ведения очистных работ. Следует также иметь ввиду, что расширение фронта работ по добыче полезного ископаемого приведет к значительному разуплотнению дисперсных руд, повышению степени раскрытия трещин в скальных породах и, как следствие, к возрастанию притоков к горным выработкам.

С учетом сказанного, рассмотрим основные принципы организации и проведения гидрогеологических наблюдений, проводимых в рамках мониторинга подземных вод непосредственно в горных выработках месторождения.

Наблюдения за изменением расходов действующих скважин во времени рекомендуется проводить один раз в месяц; при значительном повышении дебитов скважин во времени предлагается сократить интервал времени между замерами до двух недель и даже одной недели.

Отбор проб воды (попутно с замерами расходов воды из скважин) проводится для определения в составе воды ряда химических показателей с целью оценки интенсивности нисходящего перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта в горные выработки. Из этих показателей рекомендуется определять содержание в подземных водах хлор-иона и сероводорода, а также величины минерализации воды – основных компонентов, свидетельствующих о перетоке воды из упомянутого водоносного горизонта в рудно-кристаллический пласт.

Желательно оценку химического состава воды выполнять непосредственно в шахтных условиях, используя оборудование экспресс-лаборатории. Если определение сероводорода не может быть произведено в течение первых часов, то отбор на H_2S рекомендуется проводить с использованием консервантов. Повышенное содержание H_2S в воде свидетельствует о достаточно высокой скорости перетекания воды, отсутствие H_2S при низком содержании хлор-иона – о длительности периода перетекания, когда во времени наблюдаются окислительные реакции и, соответственно, возрастает содержание в воде сульфат-иона. Заметим, что содержание сероводорода в пробах воды из скважин, превышающее 1 мг/дм^3, говорит о достаточно интенсивном перетекании вод в горные выработки из нижнекаменноугольного горизонта. О тесной гидравлической связи отмеченных горизонтов свидетельствует также низкое содержание в воде хлор-иона и заметное уменьшение минерализации воды.

Замеры расходов воды в водопроявлениях из кровли, боков и почвы горных выработок и контроль изменения их химического состава. Попутный контроль химического состава воды из водопроявлений проводится по величине минерализации воды, содержанию в ней хлор-ионов и сероводорода. Для этого рекомендуется попутно проводить ранжировку тектонических трещин, зон трещиноватости, дробления, кливажа с увязкой их с пунктами (объектами) исследований, выбранными и предназначенными для наблюдений за устойчивостью обнажений в подземных выработках.

Характер (форма) водопроявлений может проявляться в виде:

- состояния полного насыщения (возможность развития плывунов в БЖР с низкой водоотдачей);
- нерегулярного или регулярного капежа в отдельных точках, в пределах площадей различного размера в кровле и боках выработки;
- линейных струй по определенным направлениям, обычно связанным с тектоническими нарушениями;
- локального прорыва из пустот в железистых кварцитах; при этом сработка малых запасов подземных вод может происходить в течение минут, десятков минут, первых часов.

Первые определения расходов подземных вод из всех форм водопроявлений рекомендуется выполнить до начала очистных работ. В процессе ведения добычи БЖР и развития процессов разуплотнения пород замеры расходов воды проводятся каждые две недели с параллельным отбором проб воды на химический анализ. Наблюдения за изменением дебита из водопроявлений также дает возможность оценить интенсивность перетекания, которое во многом будет определять возможность развития таких фильтрационных процессов, как формирование языков оплывания, суффозионный вынос и переход БЖР в состояние плывунов. Констатация начала развития фильтрационных деформаций в БЖР должна сопровождаться принятием кардинальных мер для их подавления. Одним из простых и доступных способов защиты подземных выработок и обеспечения их устойчивости в таком случае является снижение гидродинамического давления путем бурения дренажных скважин для дополнительного перехвата потока нисходящего перетекания.

Таким образом, мониторинг изменения характера перетекания из каменноугольного водоносного горизонта необходимо проводить как по всем действующим скважинам, так и по специально выбранным пунктам водопроявления. Последующая обработка результатов мониторинговых наблюдений за процессами перетекания подземных вод в горные выработки является основой для своевременного принятия инженерных решений, направленных на предупреждение нежелательных последствий при вторичном обводнении руд, в том числе развитие плывунов и суффозионных процессов.

Комплексные наблюдения в пределах площади ведения очистных работ, создания бетонной потолочины и закладки выработанного пространства. Бетонная потолочина представляет собой водонепроницаемую конструкцию, способствующую в условиях процессов перетекания накоплению влаги и формированию купола подпора. При этом наибольший подъем уровня воды будет происходить в центральной части потолочины, что приведет к растеканию купола и разгрузке в примыканиях в целиковой части. Соответственно, в зонах опирания могут происходить дополнительные смещения. Основные деформации будут наблюдаться в период выемки слоев под защитой потолочины.

Возможные водопроявления в зоне ведения очистных работ должны сопровождаться контролем за агрессивностью воды по отношению к бетону потолочины и материалу закладки. Для оценки агрессивности вод необходимо производить их полный химический анализ с обязательным определением содержания агрессивной углекислоты, а также величины $БПК_5$. Учитывая микробную пораженность рудного пласта, рекомендуется один раз в два месяца проводить определение изменения бактериальной массы в рудах, а также в используемых строительных материалах. Закономерности варьирования содержания бактериальной массы по величине суммарного микробного белка позволяют охарактеризовать также способность руд к проявлению плывунных свойств. В местах активизации микробной деятельности необходим отбор проб воды для оценки интенсивности биокоррозии, а также выделения биохимических газов.

Организация режимных наблюдений за изменением напоров подземных вод в рудно-кристаллическом водоносном горизонте. Для замеров напоров подземных вод рекомендуется использование датчиков гидростатического давления (ПДС), устанавливаемых в скважинах, пробуренных в подземных горных выработках месторождения. Подобные датчики позволяют оценить напряженное состояние водонасыщенного массива и изменение его состояния под влиянием различных факторов путем определения гидростатического давления в характерных точках массива.

При гидрогеологических исследованиях применяются три модификации датчиков ПДС, отличающиеся друг от друга верхним пределом измерения гидростатического давления (от 0,3 до 3,0 МПа) и рабочим диапазоном измерений.

Методические приемы установки датчиков гидростатического давления в вертикальные скважины хорошо отработаны. Сначала на основе имеющейся геологической информации определяется количество устанавливаемых в скважину датчиков, глубины их установки, в соответствии с гидростатическим давлением выбираются датчики требуемой модификации. Непосредственно перед установкой датчиков в скважину выполняется контрольная тарировка каждого датчика. Заметим, что основным требованием к оборудованию скважин датчиками гидростатического давления является обеспечение гидравлической связи чувствительных элементов датчиков с исследуемыми слоями геологического разреза и тщательная их гидроизоляция друг от друга по стволу скважины.

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых подземным способом датчики гидростатического давления, устанавливаемые в вертикальные скважины, целесообразно использовать для определения высоты зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) или зоны разуплотнения для контроля изменения гидростатического давления (на-

поров) на крепь шахтных стволов, подготовительных и капитальных горных выработок.

Датчики гидростатического давления могут быть также использованы в качестве метода наблюдения за напорами в толщах, сложенных слабопроницаемыми породами, в том числе БЖР. При этом положение верхней границы ЗВТ определяется по существенной разнице в скоростях снижения гидростатического давления (или порового давления) в зоне водопроводящих трещин и над нею. Чем сильнее профильная анизотропия проницаемости толщи, тем существенней различие интенсивности рассеивания порового давления в зоне ЗВТ и над ней.

Датчики гидростатического давления можно также привлекать для замеров гидростатических давлений в породах, пересекаемых шахтными стволами месторождения. В этом варианте датчики закладываются в шпуры, пройденные через крепь шахтных стволов. На участке закладки датчика проводятся два шпура с использованием превентивного бурения и с соблюдением мер безопасности, исключающих выброс бурового инструмента за счет возможного высокого гидростатического давления за крепью шахтного ствола. В один из шпуров закладывается и герметизируется датчик, при этом другой шпур используется для «стравливания» высокого давления. Затем разгрузочный шпур герметизируется и по заложенному датчику можно фиксировать изменение гидростатического давления в течение всего периода эксплуатации горных выработок. Тип датчика выбирается в зависимости от величины предполагаемого гидростатического давления на крепь шахтных стволов.

Для оценки гидростатических давлений в кровле других подземных горных выработок в практике гидрогеологических исследований обычно используются восстающие скважины, закрепленные кондуктором и оборудованные устройством на устье скважины для замера давления водяного столба обычными манометрами. В этих условиях оценивается осредненная величина гидростатического давления в интервале породного массива, вскрытого скважиной. Технология и методика установки гирлянды датчиков гидростатического давления в восстающие или наклонные скважины, проходимые непосредственно из горных выработок, к настоящему времени не разработаны, в практике горного дела отсутствуют примеры замеров гидростатического давления подобным образом. Известны лишь примеры «точечных» замеров гидростатического давления в кровле горных выработок на угольных месторождениях путем установки датчика (или гирлянды датчиков) в вертикальных скважинах, пройденных с поверхности на глубины, не превышающие 100 м.

В связи с этим, методы наблюдений за изменениями напоров подземных вод в рудно-кристаллическом водоносном горизонте с помощью датчиков гидростатического давления, оборудуемых в горизонтальных или слабонаклонных скважинах, носят пионерный характер и будут в основном опираться на опыт закладки датчиков гидростатического давления в крепь шахтных стволов, технология установки которых отработана на других месторождениях. На Яковлевском железорудном месторождении датчики гидростатического давления в первую очередь рекомендуется установить в той части участка первоочередной отработки месторождения, в пределах которой выделены зоны повышенной проницаемости массива горных пород.

Геомеханический мониторинг в горных выработках. Основная задача геомеханического мониторинга в подземных выработках Яковлевского месторождения заключается в определении характера деформации и оценки напряжений в массиве руд и вмещающих пород. Подобные задачи могут быть решены путем наблюдений в горных выработках с применением парных реперов, профильных линий, фотопланиметрической съемки, а также наблюдений по контролю устойчивости защитной потолочины.

Наблюдения в горных выработках с применением парных реперов и подземной профильной линии позволяют определить с помощью доступных маркшейдерско-геодезических методов изменения смещения контура горных выработок и обратным способом рас-

считать возникающие напряжения. Парные репера устанавливаются в кровле, подошве и боках выработки. При проходке горной выработки вблизи ее забоя (2,0-3,0 м) в кровле и почве закладывают напротив друг друга первую пару реперов (1 и 2), затем – вторую пару реперов (3 и 4), т.е. в сечении выработки рекомендуется заложить четыре репера. Сечение с двумя парами реперов желательно располагать вблизи места установки рамной крепи (0,3-0,5 м), на которой закрепляются точки 1′ и 2′ (точка 2′ закрепляется в почве горной выработки напротив точки 1′), а также точки 3′ и 4′ (рис.2).

Методом геометрического нивелирования периодически определяются высотное положение реперов 1 и 2 (1′ и 2′) относительно опорного репера. Разность высотных отметок, определенных в первой и последней сериях таких наблюдений будет являться вертикальным смещением u_1 для репера 1 в кровле и u_2 для репера 2 в почве выработки. Аналогичным образом получают вертикальные смещения и по реперам 1′ и 2′. Одновременно с наблюдениями за смещением реперов 1 и 2 (1′ и 2′) в вертикальной плоскости производятся наблюдения за смещением реперов 3 и 4 (3′ и 4′) в горизонтальной плоскости. Смещение реперов 3 и 4 в горизонтальной плоскости производят методом измерения ординат. Для этого под одним из опорных реперов центрируют теодолит, зрительная труба которого наводится на второй опорный репер и в таком положении закрепляется, чем фиксируется направление створа в горизонтальном направлении. К реперу 3 (3′) приставляется нивелирная рейка в горизонтальном положении и по ней берется отсчет, используя вертикальную нить сетки нитей зрительной трубы теодолита.

Аналогичные действия и измерения осуществляются на противоположном репере 4 (4′). Это первая серия наблюдений за горизонтальным смещением реперов 3 и 4 (3′ и 4′). Такие измерения проводятся несколько раз, одновременно с нивелированием реперов 1 и 2 (1′ и 2′). Разность положений в горизонтальной плоскости, определенная в первой и последней сериях таких наблюдений, будет являться горизонтальным смещением v_3 для репера 3 и v_4 для репера 4 (рис.3). Аналогично определяют горизонтальные смещения реперов 3′ и 4′.

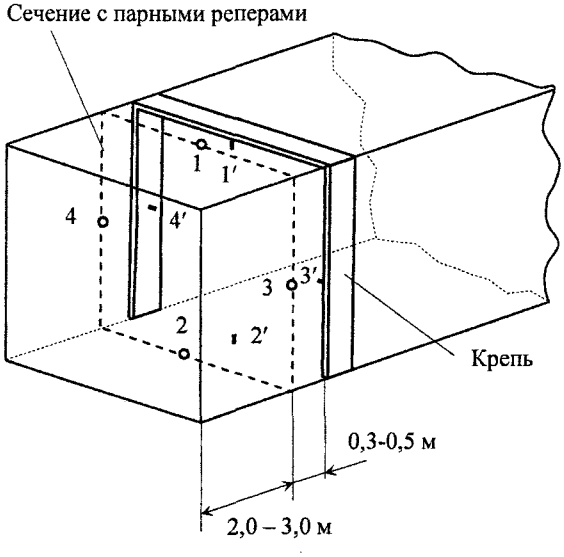


Рис.2. Расположение сечения с парными реперами

1 и 2; 3 и 4 - парные реперы в сечении выработки; 1′ и 2′; 3′ и 4′ - парные реперы на раме крепи (репер 2′ закладывается в почве выработки напротив репера 1′)

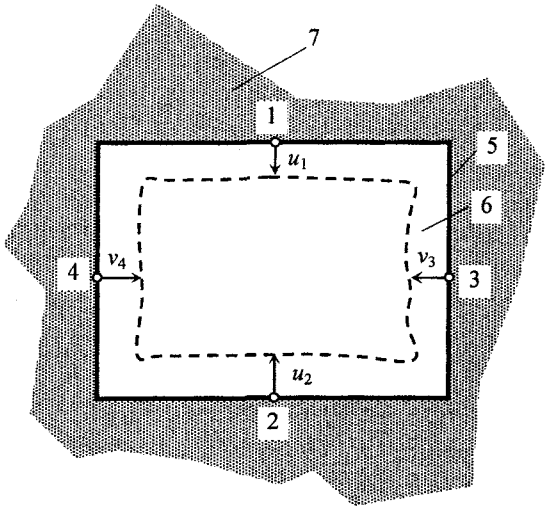


Рис.3. Контур выработки с заложенными парами реперов

1 и 2 – пара реперов, заложенные соответственно в кровлю и почву горной выработки; 3 и 4 – реперы, заложенные в бока горной выработки; 5 – контур горной выработки; 6 - контур горной выработки после ее деформирования; 7 – массив горных пород; u_1, u_2 – измеренные вертикальные смещения реперов, соответственно установленных в почве и кровле горной выработки; v_3, v_4 – измеренные горизонтальные смещения реперов в боках горной выработки

Соотношение измеренных вертикальных и горизонтальных смещений позволяют отразить микро- и макроструктурные особенности строения массива горных пород, соответственно, полученные по ним деформационные характеристики массива смогут отразить эти структурные особенности его строения.

При известных значениях радиуса выработки R и объемного веса пород γ и с учетом измеренных вертикальных и горизонтальных смещений можно рассчитать коэффициент поперечных деформаций

$$\mu = 0{,}625 - \sqrt{0{,}0625 - 0{,}5\frac{u_1 + u_2 - v_3 - v_4}{u_1 + u_2 + v_3 + v_4}},$$

где u_1 и u_2 – вертикальные смещения соответственно кровли и почвы, м; v_3 и v_4 – горизонтальные смещения боковых стенок выработки соответственно в точках 3 и 4, м.

Модуль общей деформации с использованием максимальных вертикальных смещений u_1 и u_2 определится из выражения

$$E = -\frac{1+\mu}{(1-\mu)(u_1+u_2)} R\gamma H\left[(3-4\mu)(1-2\mu)+1\right],$$

где H – глубина выработки, м.

Если выработка не круглого сечения, то в формуле для определения модуля деформации необходимо использовать приведенный радиус

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

где S – площадь сечения горной выработки, м^2.

Предлагаемый способ предусматривается применять для определения деформационных характеристик массива горных пород, используемых для прогноза степени воздействия геомеханических процессов на горные выработки, на крепь выработок, на окружающий их массив горных пород, а также на поверхностные здания и сооружения, расположенные на подрабатываемых участках.

Для продолжительного контроля за состоянием горных выработок рекомендуется организовать подземную наблюдательную станцию. Для этого в горных выработках (местах заложения сечений с парными реперами через 150-200 м) закладывается подземная профильная линия реперов с включением в ее состав сечений с парными реперами. Реперы профильной линии для их сохранности закладываются в кровлю горной выработки с интервалом между реперами 20 м.

Контроль за проявлением вертикальных смещений реперов осуществляется методом геометрического нивелирования. Этим методом периодически определяется высотное положение реперов профильной линии и реперов в кровле и почве (включенных в профильную линию сечений) относительно опорных реперов. Разность высотных отметок, определенных в первой и последней сериях таких наблюдений, будет свидетельствовать о вертикальном смещении реперов.

Высотное определение реперов рекомендуется проводить по одной-две серии в месяц. Количество наблюдений можно увеличивать или уменьшать в зависимости от степени интенсивности протекания процессов деформирования выработки. Заметим, что опорные реперы следует закладывать в выработках, расположенных за пределами контура очистных работ и в почве горных выработок.

Замеры деформаций контура горной выработки с помощью фотопланиметрической съемки заключаются в фотографировании пересечения светового направленного пучка с поперечной поверхностью горной выработки. В состав аппаратуры для реализации этой съемки входят осветитель и цифровой фотоаппарат.

Съемка сечения выработки происходит в режиме «видео». Фотоаппарат запускается в этот режим и по команде оператора помощником замыкаются контакты фотовспышки на осветителе; пересечение светового пучка от вспышки фиксируется цифровой камерой. В компьютере производится просмотр видеофильма и останавливается кадр, где есть фотосечение, полученное в момент фотовспышки осветителя. Сохраняя эту картинку в виде отдельного файла, переносим его в программу для обработки. Для этих целей рекомендуется привлекать программный продукт AutoCAD.

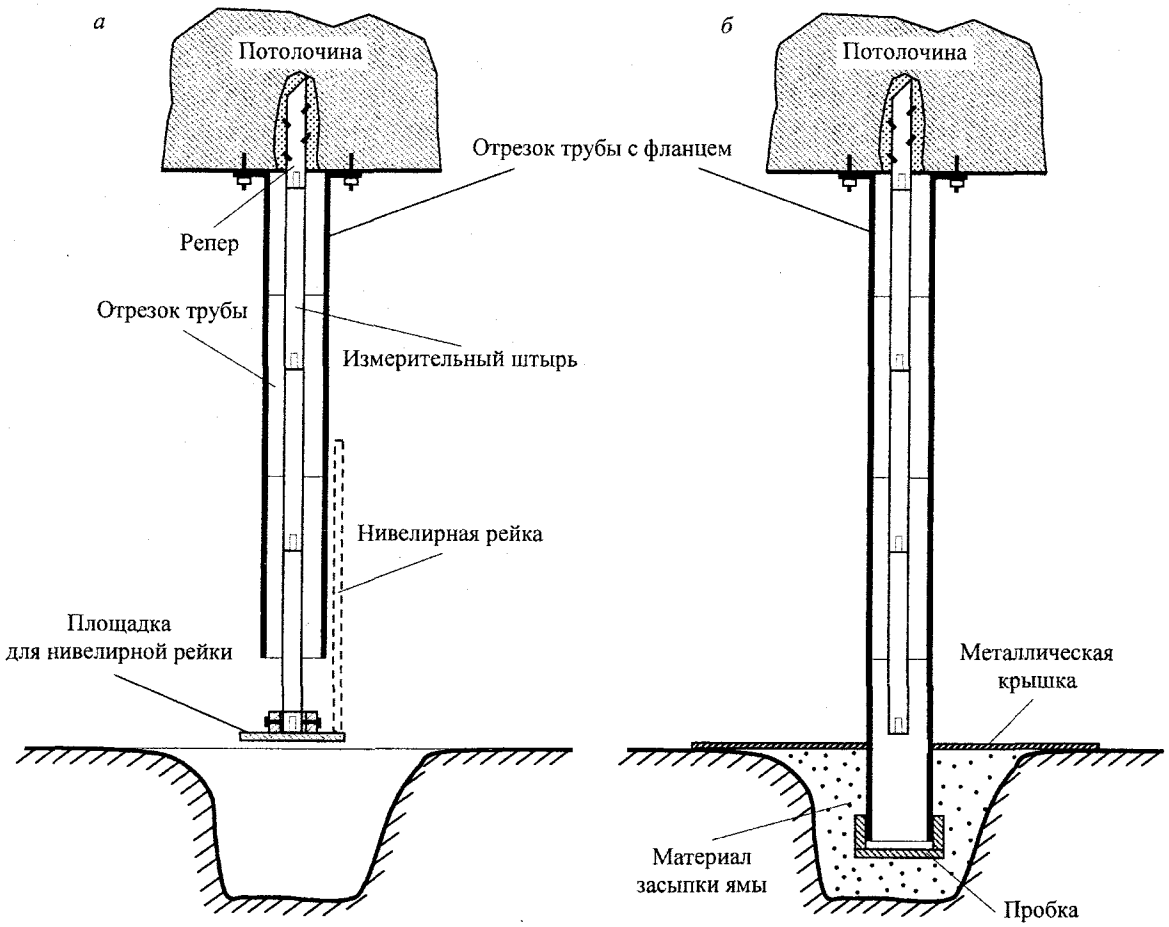


Рис.4. Принципиальная схема измерительной системы контроля за смещением защитной потолочины при выемке первого слоя (*а*) и подготовка ее к выемке второго слоя (*б*)

Для получения по результатам фотопланиметрической съемки деформаций снятого контура горной выработки, необходимо предварительно (перед съемкой) по линии снимаемого контура горной выработки заложить репера. В итоге на снимке будет отображаться не только контур выработки, но и сами реперы. Сделав два снимка одного и того же контура выработки в разное время и сравнив их контуры, на которых расположены реперы, между собой в среде AutoCAD, можно получить смещение реперов на контуре выработки и оценить линейные изменения самого контура. Программа AutoCAD позволяет определить указанные смещения до сотых долей мм.

Контроль устойчивости защитной потолочины сводится к обеспечению возможности производства измерений смещений потолочины на период выемки трех-четырех слоев с закладкой выработанного пространства. Для возможности непосредственного измерения смещений защитной потолочины (при попутной выемке и закладке слоев под защитой потолочины) предлагается следующая конструкция наблюдательной станции и методика наблюдений.

Смещение защитной бетонной потолочины оценивается по реперу, заложенному в нижнюю (обнаженную) ее часть. Репер представляет собой металлический стержень, хвостовая часть которого имеет насечку для более прочного закрепления через раствор с телом потолочины. В головной части репера просверливается отверстие с резьбой для соединения репера с измерительными штырями. Система таких штырей, собираемых (скручиваемых) в колонну, позволяет производить наблюдения при выемке второго, третьего и т.д. слоев. Для сво-

бодного перемещения колонны штырей в соответствии с перемещением репера независимо от твердеющей закладки отработанных слоев ее необходимо изолировать от закладочного материала, для чего колонна измерительных штырей помещается внутрь колонны труб, собираемой параллельно монтажу измерительных штырей (рис.4).

Суть измерений смещений репера потолочины заключается в периодической (от одного раза в сутки до одного раза в неделю) передаче высотной отметки (от одной из точек подземной опорной маркшейдерской сети) на торец колонны штырей методом геометрического нивелирования. Для удобства установки нивелирной рейки в момент передачи высотной отметки на торец колонны штырей прикрепляется специальное устройство с площадкой круглой или квадратной формы (рис.4), края которой должны выступать относительно края колонны труб не менее, чем толщина нивелирной рейки (2,5 см).

Суммарно накопленные смещения репера определятся как разность между высотными отметками первой и второй серий, первой и третьей, первой и четвертой сериями измерений или между пятой и шестой, шестой и десятой сериями и т.д., т.е. в зависимости от того, за какой период времени потребуется информация о смещениях.

После проведения измерений за смещением реперов по первому слою осуществляется подготовка и соответствующие измерения с горизонта второго слоя, затем третьего, четвертого и т.д. отрабатываемых и закладываемых слоев.

Установка репера в защитной потолочине для возможности определения его смещений в условиях слоевой выемки с закладкой выработанного пространства, должна быть произведена в месте ожидаемого максимального оседания потолочины. Наиболее вероятным положением такого места является середина выработанного пространства.

Предлагаемая структура гидрогеомеханического мониторинга должна совершенствоваться и дополняться в процессе ведения очистных работ, которые приведут к интенсификации перетока в рудный пласт и подземные выработки из вышележащего водоносного горизонта, что потребует расширения сети мониторинга и изменения динамики его проведения.