
© С.С. Серый, А.В. Кожуховский,
Е.Б. Яницкий, А.В. Дунаев,
2010

УДК 622.1

С.С. Серый, А.В. Кожуховский, Е.Б. Яницкий, А.В. Дунаев

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННОЙ ВИДЕОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ МАССИВА СКАЛЬНЫХ ПОРОД

Изложены методика и результаты видеометрической съемки инженерно-геологических скважин, пробуренных в юго-восточном борту карьера ОАО «Ковдорский ГОК». Сделан вывод о перспективности скважинной видеометрии для изучения структуры массива скальных пород.

Ключевые слова: видеометрический комплекс, инклинометрия, скальные породы.

Семинар № 1

Для изучения структуры массива скальных пород при проведении разведочного бурения необходимо в скважине установить интервал, на котором залегает структурный объект (плоскость слоистости или рассланцевания пород, трещина, контакт между различными породами) и определить его элементы залегания (азимут и угол падения). Обычно это делается с применением методов кернometрии, которые включают различные способы ориентирования керна в массиве и определения элементов залегания пород (трещин, контактов, прожилков) по поднятыму на поверхность ориентированному керну. Указанные методы технологически сложные и не гарантируют получение ориентированного керна по всему стволу скважины, а также его сохранность на интервалах трещиноватых и дробленых пород, представляющих наибольший интерес для решения инженерно-геологических и геомеханических задач.

Авторами в 2006–2007 гг. проведены в составе работ ОАО «Мурманская ГРЭ» по инженерно-геологическому доизучению буровыми сква-

жинами юго-восточного борта карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» видеометрические исследования скважин с помощью сконструированного и изготовленного ФГУП ВИОГЕМ видеометрического комплекса. Задачей видеометрических исследований было установление в скважинах позиции плоскостей ослабления породного массива и определение их элементов залегания для оценки устойчивости уступов и борта в целом на указанном участке карьера. Результаты этих исследований показали перспективность видеометрического метода изучения структуры массивов скальных пород по скважинам в сочетании с изучением керна и каротажом.

Конструкция видеометрического комплекса. Видеометрический комплекс включает зонд, устройство подачи кабеля, пульт управления и индикации, видеоконтрольное устройство, видеорегистратор, блок автономного питания.

Видеометрический зонд предназначен для сбора и передачи видеоинформации и состоит из следующих основных элементов: объектива со

схемой управления им, двух видеокамер цветного изображения (фронтальной и боковой), устройства для вращения боковой видеокамеры, приемника-десифратора команд телеуправления, схем обработки видеосигналов и управления освещением, магистрального передатчика, блока стыковки с соединительным кабелем. На корпусе зонда ставится линейная метка для его ориентировки в скважине. Зонд сохраняет герметичность в воде при давлении до 100 атм.

Устройство подачи кабеля обеспечивает размотку-сматку кабеля без петель и повреждений, а также подключении к зонду пульта управления и блока автономного питания. *Пульт управления и индикации* состоит из клавиатуры ввода команд, шифратора-передатчика команд и нескольких дополнительных блоков: измерения частоты цифровой индикации, контроля напряжения тока, усилителей сигналов. *Видеоконтрольное устройство* – цветной монитор для оперативного контроля видеинформации. *Видеорегистратор* выполняет непрерывную запись информации на видеокассету.

Видеометрический комплекс предназначен для видеосъемки стенок вертикальных и наклонных скважин глубиной до 300 м. В качестве штанг используются трубы ПВХ диаметром 40–50 мм и длиной 2 м. Внутренний диаметр расширения одного конца трубы соответствует внешнему диаметру ее другого конца. После стыковки труб место их соединения фиксируют саморезом. На концах каждой трубы нанесены линейные метки, лежащие на одной прямой, для ориентировки зонда и всего снаряда. Кабель крепится к трубам пластиковыми хомутами. Спуск-подъемные операции выполняются с помощью специ-

ального устройства на раме с лебедкой и фиксаторами штанг, позволяющими перемещать штанги в нужном направлении и крепить их при наращивании снаряда.

Методика полевых работ по видеометрии скважины. Непосредственно на скважине после развертывания наземного оборудования зонд пристыковывается к штанге, проверяется работа всех узлов видеометрического комплекса, оптическая ось объектива боковой видеокамеры совмещается с линейной меткой на штанге, и снаряд подается в скважину.

После спуска первой штанги снаряд путем вращения ориентируют с помощью надетого на кондуктор скважины лимба – вырезанного из пластика и оцифрованного от 0 до 360° круга, ориентированного относительно географического меридиана по дирекционному направлению (измеренному на плане карьера азимуту линии, соединяющей устье скважины с каким либо ориентиром).

На исследуемом участке карьера инженерно-геологические скважины бурились по азимуту примерно 145° и под углом 5–25° от вертикали с проведением инклинометрии. Снаряд ориентировали по азимуту скважины таким образом, чтобы объектив боковой видеокамеры был направлен вверх перпендикулярно оси скважины.

По мере погружения зонда боковая видеокамера непрерывно ведет съемку стенки скважины в секторе, равном 60°, с записью видеоролика и передачей изображения на монитор. По изображению на мониторе устанавливается наличие структурного объекта, требующего более детального изучения и определения элементов залегания. В общем случае такие объ-

екты могут быть представлены прожилками, контактами различных пород, слоистостью, полосчатостью, сланцеватостью, единичными трещинами и зонами дробления (интенсивной трещиноватости) пород. Применительно к юго-восточному борту карьера рудника «Железный» основными объектами детального изучения в процессе скважинной видеометрии были трещины и зоны дробления пород, создающие плоскости ослабления в прибортовом массиве.

Трещины в стенках скважины проявлены эллипсовидным следом шириной 0,2–0,3 см и углублением в массив на 0,5–5,0 см, а зоны дробления (интенсивной трещиноватости) пород – пустотами, уходящими на 25 см и более в массив. Границы этих пустот в стенках скважин имеют сложные геометрические контуры. На их дне обычно виден обломочный материал. Столовая мощность зон дробления 0,1–0,5 м. Углубления и пустоты в массиве пород обусловлены удалением разрушенного материала из трещин и зон дробления в процессе бурения скважин.

На глубине нахождения структурного объекта снаряд останавливают и путем вращения боковой видеокамеры на 360° производят съемку всей цилиндрической поверхности ствола скважины. Первый кадр съемки выполняется при известном положении оптической оси объектива видеокамеры, азимут которой равен азимуту снаряда. Оптическая ось объектива на кадре расположена в его центре. Пройдя полный оборот, видеокамера возвращается в исходное положение, снова фиксируя первый кадр. За одну стоянку снимается поверхность скважины в интервале 5 см по глубине. Для съемки всего объекта обычно необходимо несколько (до 30) стоянок с последовательным опусканием

или подъемом снаряда на указанную длину интервала и вращением видеокамеры на 360°. Видеометрические наблюдения в скважине сопровождаются ведением полевого журнала, в котором записываются следующие данные: дата проведения работ, номер скважины, ее азимут и угол наклона, азимут снаряда и оптической оси боковой видеокамеры, фиксируются интервалы глубин, отмечаются место и время съемки структурного объекта путем вращения боковой видеокамеры,дается характеристика объекта.

Камеральная обработка полевых видеоматериалов. Записанные на видеокассету данные по исследованным скважинам переводились с помощью лицензионной программы Pinnacle Studio в формат, удобный для их дальнейшей обработки в специально разработанной прикладной программе Video Red.

Вначале производилась выборка и сшивка кадров секториальной съемки стенок скважины с получением ее видеоколонки на весь исследованный интервал по глубине, затем для каждого структурного объекта путем выборки и сшивки кадров съемки цилиндрической поверхности ствола скважины делалась развертка на 360° выхода структурного объекта на эту поверхность – панорама объекта. На панораме наклонная относительно оси скважины трещина имеет вид синусоиды. В частном случае трещина может быть перпендикулярной оси скважины. На панораме она выглядит горизонтальной полоской.

На видеоколонках скважин наносилась шкала глубин, и выделялся первый кадр съемки каждого структурного объекта. Центр кадра обозначался точкой, которой присваи-

вался номер объекта. Объекты нумеровались последовательно сверху вниз, начиная с первого номера.

Панорамы объектов снабжались горизонтальной шкалой азимутов оптической оси объектива видеокамеры. Концы шкалы определяются начальным и конечным положением на панораме центра первого кадра. Значения азимута на концах шкалы равны азимуту снаряда в позиции первого кадра. Шкала градуирована через 10° . Длина элементарного отрезка, соответствующая 10° , устанавливается путем деления измеренного на панораме расстояния между концами шкалы на 36. Поскольку увеличение значений азимута идет по часовой стрелке, оцифровка шкалы производится с правого ее конца по нарастанию значений азимута до 360° , а с левого – по убыванию азимута до 0° (рис. 1).

Кроме того, на панораме показана вертикальная шкала высоты развертки следа трещины на стенках скважины. Масштаб этой шкалы устанавливают путем деления длины окружности поперечного сечения скважины (L), вычисленной по известной формуле ($L = \pi D$, где D – диаметр скважины по данным кавернометрии) на длину азимутальной шкалы, измеренной на панораме.

Азимут падения трещины определяется положением на азимутальной шкале самой нижней точки следа трещины (точка А на рис. 1), а угол ее падения (α), равен $\arctg a/d$, где « a » – высота развертки трещины, а « d » – диаметр скважины.

Полученные указанным выше способом значения элементов залегания трещины являются истинными только для вертикальных скважин. Для наклонных скважин истинные элементы залегания трещин рассчитывались алгоритмически с использованием аппарата векторной алгебры и матричных вычислений. Разработанный алгоритм реализован в специальной программе, с помощью которой и производился расчет истинных азимута и угла падения трещины.

Элементы залегания трещины по данным видеосъемки определялись в локальной сферической (угловой) системе координат. В этой системе ориентировка трещины задается азимутом (β) и углом наклона (α) вектора Р (нормали к плоскости трещины) (рис. 2). Азимут (β) отсчитывался относительно условного направления на север (N'), а угол наклона (α) – относительно плоскости поперечного сечения скважины.

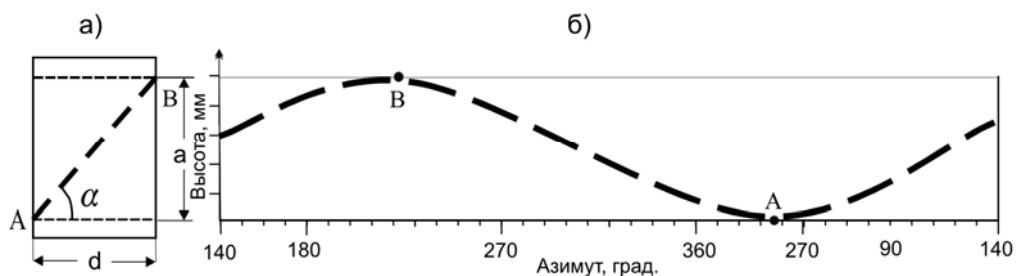


Рис. 1. Схема, поясняющая методику определения элементов залегания трещины по данным видеометрии ствола скважины: а – продольный разрез скважины, б – раз-

вертки цилиндрической поверхности ствола скважины; утолщенный пунктир – след трещины на стенке скважины

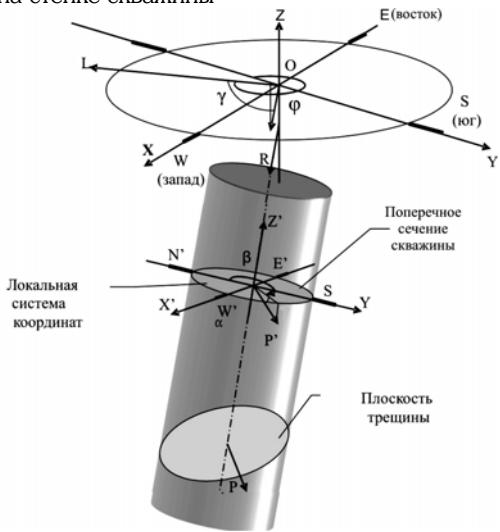


Рис. 2. Схема, поясняющая расчет элементов залегания трещины, пересеченной наклонной скважиной

Переход от локальной сферической системы координат в абсолютную (заданную горизонтальной поверхностью и лежащим в ней вектором на север) в аналитическом виде представляет собой трудную математическую задачу, связанную с решением системы нелинейных уравнений. Поэтому вначале был сделан переход от локальной сферической системы координат в локальную декартовую систему, а уже от нее в абсолютную декартовую систему, в которой и определялись истинные значения азимута и угла падения трещины, пересеченной наклонной скважиной.

Пошаговая процедура, предусмотренная разработанным алгоритмом:

а) преобразование координат вектора P из локальной сферической системы координат в локальную декартовую систему координат $P_{\alpha\beta} \rightarrow P_{xyz}$

$$x' = -R \sin \beta_{\text{изм}} \cos \alpha_{\text{изм}},$$

$$y' = -R \cos \beta_{\text{изм}} \alpha_{\text{изм}},$$

$$z' = -R \sin \alpha_{\text{изм}},$$

где $\alpha_{\text{изм}}$, $\beta_{\text{изм}}$ – параметры вектора P в локальной сферической системе координат (измеренные на панораме значения элементов залегания трещины); R – радиус-вектор нормали P к плоскости трещины (принимается равным 1, так как в данной задаче нас интересует только направление вектора); x' , y' , z' – координаты вектора P в локальной декартовой системе;

б) поворот преобразованного вектора на угол γ против часовой стрелки относительно оси WE (условное направление запад-восток)

$$P_{xyz}^* = P_{xyz} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{vmatrix},$$

где γ – угол отклонения оси скважины R от горизонтальной плоскости;

в) поворот преобразованного вектора на угол φ против часовой стрелки относительно оси Z

$$P_{xyz}^{**} = P_{xyz}^* \begin{vmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где φ – азимут оси скважины R в горизонтальной плоскости относительно севера.

г) преобразование полученного вектора из декартовой системы координат в сферическую систему координат $P^{**xyz} \rightarrow P^{**\beta\alpha}$.

В результате выполненных преобразований параметры элементов залегания трещины, пересеченной наклонной скважиной, могут быть определены по следующим зависимостям:

$$\beta_{ист} = 180 + \arctg \frac{x}{y},$$

$$\alpha_{ист} = \arctg \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

где $\beta_{ист}$ – истинный азимут падения трещины; $\alpha_{ист}$ – истинный угол падения трещины; x, y, z – координаты вектора P в абсолютной декартовой системе

Правильность расчета истинных элементов залегания трещины по указанному алгоритму подтверждена экспериментально на стенде, моделирующем наклонную скважину, пересекающую трещину. Расхождения между расчетными и измеренными гирокомпасным компасом значениями азимута падения трещины различались на $\pm 2^\circ$, а угла падения на $\pm 0,5^\circ$, т.е. на величину погрешности прибора.

Азимут падения трещины, перпендикулярной оси скважины (на панораме она выглядит горизонтальной полоской) будет отличаться от азимута скважины на 180° , а угол ее падения равен углу наклона скважины относительно вертикали.

Описанная выше методика пригодна для определения ориентировки любых структурных объектов, выраженных в стенах скважины следом пересечения ее плоскостью под углом не менее 45° . При меньшем угле резко увеличивает высота цилиндрической развертки («а» на рис. 2) и становится технически трудно прорасширить след структурного объекта в стенке скважины и снять его вращающейся видеокамерой, так как потребуется большое (более 30) число стоянок снаряда. Если структурный объект выражен не плоскостью, а геометрически сложной поверхностью, след пересечения которой со стенкой скважины представлен вол-

нистой или ломаной замкнутыми линиями, то определить его элементы залегания по данным видеометрии невозможно, как, впрочем, и при условии прямого доступа с компасом данному структурному объекту.

Итоговые материалы обработки данных видеометрических исследований по скважине: видеоролик на цифровом носителе и графические документы – видеоколонка и альбом панорам структурных элементов. Видеоколонка представляет собой сшипанный на всю исследованную глубину масштабированный снимок стенки скважины в секторе, равном 60° , с указанием интервалов глубин, проекции оптической оси боковой видеокамеры на стенке скважины и азимута оси, оптического центра первого кадра панорамы структурного объекта и ее номера. Каждая панорама сопровождается таблицей, в которой приведены следующие данные: глубина залегания структурного объекта в скважине, ее диаметр, высота цилиндрической развертки, азимут и угол падения элемента (измеренные и истинные).

Результаты скважинной видеометрии. Видеометрическая съемка проведена в 6 скважинах от глубины их обсадки (5–50 м) до границы, ниже которой из-за высокой плотности взвеси минеральных частицы в воде (муты) стенки скважины становятся невидимыми (обычно на глубине 100–150 м). Это ограничение по глубине обусловлено тем, что в период выполнения видеометрических исследований не было технической возможности провести промывку скважин. Длина исследованного интервала по скважинам колеблется от 40,8 до 150 м, а суммарная составляет 636,0 м.

Всего установлено 95 трещин и 5 зон дробления (интенсивной трещиноватости) пород, для которых построены панорамы и определены элементы залегания. Анализ построенной на стереографической проекции диаграммы ориентировки трещин, установленных скважинной видеометрией, выявил преобладающее развитие системы трещин северо-восточного простирания (аз. пад. $328\text{--}338^\circ < 31\text{--}55^\circ$).

На исследуемом участке трещины этой системы простираются вдоль борта карьера и падают в сторону выемки. Вследствие подрезания горными работами крупной трещины (зоны дробления или интенсивной трещиноватости пород) указанной системы (аз. пад. $325^\circ < 43^\circ$) произошла серьезная деформация борта карьера, захватившая группу уступов, чем была и вызвана необходимость бурения здесь инженерно-геологических скважин.

По данным видеометрии установлено также наличие плоскостей ослабления породного массива, аналогичных той, по которой произошло обрушение группы уступов, и субпараллельных ей. Первая такая плоскость расположена на расстоянии 35–40 м по нормали от уже известной вглубь в массиве, а другая – на расстоянии 25 м от первой.

Результаты выполненных видеометрических исследований доказали высокие разрешающие возможности видеометрического метода изучения структуры массива горных пород по скважинам. Этот метод позволяет непосредственно наблюдать все структурные элементы (трещины, зоны дробления, дайки, слоистость и полосчатость, контакты пород), документально их фиксировать непрерывно по стволу скважины, точно определять позицию структурного эле-

мента в скважине и его пространственную ориентировку.

Видеоролик скважины является объективным геологическим документом, к которому в любое время может обратиться специалист для проверки и уточнения имеющейся по скважине геолого-структурной информации, дополнения ее какими-то деталями, на которые предшественники не обратили внимания или посчитали несущественными для решения стоящих перед ними задач.

Следует также отметить, что при просмотре видеоролика и на видеоколонке скважины отчетливо видны цвет и текстурные особенности пород. По этим признакам при наличии эталонной коллекции снимков пород изучаемого участка, составленной по данным геологической документации керна скважин, исследуемых видеометрией, возможно дешифрирование указанных выше видеодокументов с выделением интервалов, сложенных той или иной породой.

Перспективность видеометрического метода исследования структуры массивов горных пород по скважинам в совокупности с изучением керна и каротажом не вызывает сомнений. Вместе с тем опыт его использования в промышленных условиях на карьере ОАО «Ковдорский ГОК» выявил серьезный недостаток в конструкции видеоблока зонда – вращающаяся камера для съемки стенок скважины с целью получения по данным съемки панорамы трещины.

Этот недостаток обусловил сбои в работе и высокую энергоемкость электромеханических узлов, обеспечивающих вращение камеры, а также сложность и трудоемкость обработки видеоЗображения, полученного в режиме вращения, что связано с неравномерным удалением камеры от стенок скважины и искажением изо-

бражения за счет съемки при движении камеры. «Сшивка» видеокадров в панораму трещины оказалась довольно сложной процедурой, требующей высокой квалификации исполнителя.

Для устранения указанного выше конструктивного недостатка видеоизометрического зонда в настоящее время исполнителями разработана и опробована в лабораторных условиях новая конструкция видеоблока. Она представлена пакетом из 6 видеокамер, оптические оси которых лежат в одной плоскости, перпендикулярной оси зонда, с мощной системой освещения, гарантирующей хорошую ви-

димость стенок скважины по всей окружности их поперечного сечения. Применение нового видеоблока позволит, минуя нетехнологичную процедуру вращения камеры, а при камеральной обработке видеоматериалов «сшить» кадров съемки в панораму, сразу получать цилиндрическую развертку следа трещины на стенке скважины. Передачу видеоинформации на поверхность планируется осуществлять в цифровом виде по протоколу TCP с разрешающей способностью кадра 640x480 пикселей. **ГИАБ**

Коротко об авторах

*Серый С.С. – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе
Кожуховский А.В., Яницкий Е.Б. –*

Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу (ФГУП ВИОГЕМ), viogem@mail.belgorod.ru

*Дунаев А.В. – аспирант Московского государственного горного университета,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru*



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Наумов К.И. канд. техн. наук, Московский государственный горный университет,
Мишин Ю.М. инж. СУЭК

ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ НА «НАЗАРОВСКОМ» РАЗРЕЗЕ. (751/04-10 от 10.02.10 г.) 9 с.

Обосновывается возможность выделения песка и гравия из вскрытых пород угольных разрезов при их гидромеханизированной разработке. Кроме высокой экономической эффективности добычи этих строительных материалов данная технология обеспечивает комплексное использование минеральных ресурсов и способствует снижению экологической нагрузки в регионе.

Ключевые слова: гидромеханизация, строительные материалы, комплексное использование ресурсов недр.

Naumov K.I., Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru
Mishin J.M.

PROSPECTS OF HYDROMECHANIZATION ON THE "NAZAROVSKY" CUT.

The article proves an opportunity for the production of a sand-gravel material based on overburden rocks from surface coal operations with the use of hydraulic mining methods. In addition to high economic efficiency the application of these flowsheets provides also for integrated multipurpose utilization of mineral resources and softening of the environmental effect of mining.