© В.И. Колесников, В.И. Стрельцов, 2006

УДК 622.1

*В.И. Колесников, В.И. Стрельцов*

# *МЕТОДЫ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СГД*

**Семинар № 2**

Описаны этапы развития и совершенствования маркшейдерского обеспечения при горных работах. Приведены основные требования по точности инструментальных наблюдений. Изложены методы спутниковых навигационных систем (GPS) и геофизических натурных наблюдений. Приведены конкретные результаты маркшейдерского обеспечения при СГД.

Развитие и совершенствование методов маркшейдерского обеспечения при освоении недр определяется уровнем технологического процесса в области систем разработки и горно-технологических процессов извлечения полезных ископаемых из недр. Наиболее применяемыми для технологии скважинной гидродобычи (СГД) являются маркшейдерские, с применением геофизических методов и GPS, инструментальные наблюдения.

В настоящее съемки осуществляются на базе геодезических измерений и требуют больших трудозатрат как при полевых, так и при камеральных работах [1].

Все этапы развития маркшейдерских технологий имеют тенденцию к сведению временных затрат до минимума. Время выполнения маркшейдерских работ складывается из времени их выполнения на полевом этапе ($t_п$) и времени выполнения работ на камеральном этапе ($t_к$). Исторический процесс совершенствования технологии производства маркшейдерских работ можно разделить на несколько периодов.

Первый период: работы выполнялись традиционными неавтоматизированными геодезическими инструментами и вычислительными приборами. При этом, затраты времени характеризовались – $t_п << t_к$.

Второй период характеризуется использованием программного обеспечения для обработки результатов полевых измерений. При этом время полевых работ значительно превышало время камеральных работ – $t_п >> t_к$.

Третий период характерен появлением кодовой техники (теодолитов, нивелиров). Однако время для полевых работ продолжало превышать время на производство камеральных работ – $t_п > t_к$.

Параллельно идет внедрение стереофотограмметрических съемок (четвертый период). В этом случае время на полевые работы заметно сократилось даже с учетом использования компьютерной техники при производстве камеральных работ – $t_п \leq t_к$.

Можно считать, что с появлением методов геофизических и спутниковых навигационных систем наступает пятый период развития технологий производства маркшейдерских работ. Определение в автоматическом режиме координат на основе методов GPS сокращает время как полевых, так и камеральных работ в два-три раза, при этом $tп \approx tк$.

Достижение целей маркшейдерского обеспечения технологии (СГД), возможно на основе данных натурных наблюдений с точностью, необходимой в каждом конкретном случае для фиксации процессов и параметров изменения природных компонентов.

Точность измерений состояния горных массивов приведена в табл. 1.

Учёт движения запасов полезных ископаемых осуществляется с точностью измерений, приведенных в табл. 2.

Точность, достаточная для решения задач по выявлению закономерностей использования земель приведена в табл. 3.

При гидроизвлечении руд требуется маркшейдерское обеспечение, основанное на геодезических и геофизических методах измерения с привлечением спутниковой навигационной системы [2].

Остановимся на методике геофизических и спутниковой навигационной системе наблюдений [3], которые должны отвечать требованиям точности, представленной в табл. 1, 2 и 3

Поскольку практически единственной возможностью обеспечения доступа в массив являются пробуренные скважины, система наблюдений включает следующие элементы: комплект наблюдательных скважин; комплект фиксированных точек в массиве (реперов); измерительные устройства для определения пространственных координат реперов и их изменения; устройства регистрации и обработки.

Для горно-геологических условий, в которых наиболее целесообразно применение СГД (слабые неустойчивые породы, большая глубина, обводненность массива), практически единственными методами являются методы наблюдений с использованием аппаратуры зондового типа, в частности, с использованием геофизических методов, хотя применение стационарных систем реперов с механической связью с поверхностью не исключается в принципе.

Наиболее широко распространены системы с искусственными магнитными реперами, немагнитными обсадными трубами и зондами, чувствительными к магнитному полю на основе, например, датчиков Холла или герконовых датчиков. Регистрация местоположения репера осуществляется стандартными геофизическими методами гамма - каротажа.

Смещения реперов измеряются вдоль от скважины путем фиксации разности глубин в последовательных циклах измерений с использованием каротажного кабеля в качестве средства измерения, а также длинномеров или специально разработанных устройств.

Единственным известным в настоящее время методом, позволяющим определять смещения в неустойчивом массиве в скважинах, обсаженных металлическими трубами, является метод глубинных радиоактивных реперов, относящийся к группе методов с использованием зондовых экстензометров. Метод предложен ИГД АН КазСССР, усовершенствованный во ВНИМИ и ВИОГЕМ в условиях ведения работ способом СГД.

Сущность метода наблюдений за сдвижением массива с использованием радиоактивных реперов заключается в создании и выделении естественной радиоактивной аномалии в массиве горных пород, который опробован на Шемраевском участке Больше-Троицкого месторождения под руководством Журина С.Н.

Методика работ основана на использовании гамма-каротажного до-

Таблица 1

| Показатели изменения состояния массивов | Точность измерения, м |
|---|---|
| Величина смещения горных пород | 0.7 |
| Векторы сдвижения | 0.07-0.6 |
| Величина оседаний и характер нарушения фонового состояния массивов горных пород | 0.07-0.6 |
| Размеры разрушенных участков | 0.5 |
| Мощность смещенных масс | 0.6 |
| Границы участков, отличающихся особенностями геологического строения массива | 0.6 |

Таблица 2

| Показатели учета полезных ископаемых | Точность измерения, м |
|---|---|
| Объемы извлекаемых, используемых и складируемых полезных ископаемых | 0.6 |
| Границы структурной изменчивости залегания полезных ископаемых | 0.8 |
| Размеры и распространение контактов "руда-порода" в пределах выемочных единиц | 0.7 |
| Место нахождения в выемочных единицах характерных зон изменения качества полезных ископаемых | 0.8 |

Таблица 3

| Показатели учета земель | Точность измерения, м |
|---|---|
| Площади земельного и горного отводов | 3.0 |
| Размеры территорий по категориям использования земель | 4.0 |
| Площади рекультивированных земель | 3.0 |
| Границы участков загрязнения, подтопления, осушения и т.п. земель | 5.0 |

зиметра типа РСК-7 или аналогичного, каротажной станции, например, АЭКС-900, снабженной бронированным геофизическим кабелем, и центрирующим приспособлением.

Оформление диаграмм гамма-каротажа включает дополнительное нанесение на ленте реперных точек, по которым определяют глубины реперов.

Физически естественные ″радиоактивные реперы″ в условиях месторождений богатых железных руд представляют собой пропластки глины в известняках и слои сланцев в рудном теле. Реперные слои с аномальными физическими характеристиками являются частью массива, поэтому их перемещения зависят от физико-механических параметров реперного слоя.

В соответствии с методикой ВИОГЕМ измеренное смещение реперного слоя равно разности его абсолютных отметок глубин в предыдущем и текущем циклах измерений (рис. 1).

В этом случае,

$$L = (H_1 - H_2) + (M_1 - M_2) - (L_{k1} - L_{k2}) - \\ -(R_1 - R_2) - (m_1 - m_2), \qquad (1)$$

где H - абсолютная отметка устья скважины; M - расстояние от меткоотметчика до устья скважины; $L_K$ - расстояние от последней метки на кабеле в пределах интервала записи

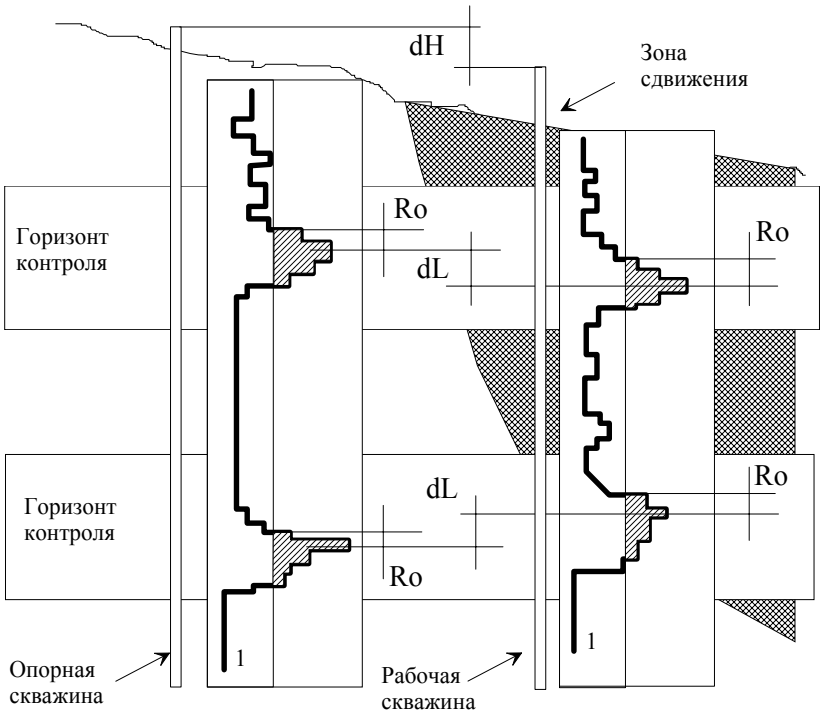


***Рис. 1. Схема проведения наблюдений за смещениями радиоактивных реперов:*** 1 – распределение геофизического параметра (радиоактивности) вдоль скважины

до регистрирующего элемента зонда;
R - расстояние между точками в скважине, соответствующими местоположению регистрирующего элемента зонда в моменты прохождения меткой меткоотметчика и регистрации порогового значения интенсивности реперного слоя (ноля репера); m - расстояние между точками в скважине, соответствующими местоположению регистрирующего элемента зонда в моменты регистрации порогового значения интенсивности реперного слоя. Цифровые индексы соответствуют предыдущему (1) и текущему (2) циклам наблюдений.

Повышение точности определения третьего слагаемого ($L_{K1}$-$L_{K2}$) достигается путем дополнительных измерений в опорной скважине, расположенной вне зоны сдвижения. Поскольку все реперы и устье опорной скважины неподвижны, можно записать:

$$0 = (M_{o1} - M_{o2}) - (L_{Ko1} - L_{Ko2}) - (R_{o1} - R_{o2}) - (m_{o1} - m_{o2}), \quad (2)$$

где все обозначения совпадают с обозначениями формулы (1), но снабжены индексом "о" для подчеркивания принадлежности значений к опорной скважине. Измерения в опорной и рабочей скважинах производятся в каждом цикле измерений. Слагаемые ($L_{K1}$-$L_{K2}$) и ($L_{Ko1}$-$L_{Ko2}$) тождественно равны, а смещение репера в рабочей скважине может быть записано как,

$$L = (H_1 - H_2) + [(R_{o1} - R_1) + (m_{o1} - m_1) - (M_{o1} - M_1)] - [(R_o2 - R_2) + (m_{o2} - m_2) - (M_{o2} - M_2)]. \quad (3)$$

Величина в двойных скобках представляет собой относительную отметку репера в рабочей скважине. Обозначив ее через DL и присваивая ей, как и ранее, индексы "1" и "2" для обозначения принадлежности к предыдущему и текущему циклам наблюдений, можно окончательно записать:

$$L = (H_1 - H_2) + (DL_1 - DL_2). \qquad (4)$$

Таким образом, наблюдения за сдвижением заключаются в периодическом контроле отметки устья скважины и контроле относительных отметок реперов (рис. 1).

На стабильность показателя m оказывает влияние форма реперной аномалии. Многообразие форм реперных аномалий не позволяет определить степень стабильности аномалии на этапе ее выделения по формальным признакам. Характерные примеры реперных аномалий с экстремальными значениями коэффициента вариации представлены на рис. 2.

Очевидно, что наличие "ступеньки" на диаграмме вызывает резкое изменение значения m при превышении пороговым значением величины J = 4 для репера 4R4 или J = 1/5 для репера 6R4. Второй причиной является наличие "провалов" на реперных диаграммах, обусловленных включением в реперный слой материала с низким уровнем радиоактивности, особенно часто встречаемым в сланцах (рис. 2, *в*). В этом случае при автоматической обработке наблюдений программа обработки может воспринять репер как состоящий их двух частей. Это может привести к грубым ошибкам. Примером являются два исключенных из рассмотрения репера. И, наконец, наличие длинных "хвостов" и пологих "вступлений" реперных аномалий, как для репера, представленного на рис. 2, *г*, также снижает точность, особенно, при асимметричности репера. Наиболее стабильны реперные аномалии в форме равнобедренного треугольника или прямоугольника (рис. 2, *д*).

Для каждого репера, пользуясь выбранным пороговым значением регистрируемого геофизического параметра и местоположением нуля репера, вычисляют значение средневзвешенной глубины репера m. Для этого производят дискретизацию диаграмм записи с шагом 2 см (1 мм на диаграмме при масштабе глубин диаграммы 1:20), для каждого интервала дискретизации определяют соответствующее значение между зарегистрированным и пороговым значением геофизического параметра и вычисляют значение m по формуле:

$$m = \frac{\sum_{j=1}^{n} X(J_j - J_{oj})}{\sum_{j=1}^{n} (J_j - J_{oj})}, \qquad (5)$$

где X – расстояние от нуля репера до j-того интервала дискретизации; J – зафиксированное значение геофизического параметра на j-том интервале; $J_o$ – пороговое значение геофизического параметра.

Для анализа стабильности реперных слоев использованы результаты наблюдений за местоположением естественных радиоактивных реперов в ходе экспериментальных работ по СГД на Шемраевском.

Для каждого репера по результатам повторных наблюдений были вычислены значения дисперсии среднего и коэффициента вариации m, характеризующие стабильность его определения.

Обработка методами стандартного регрессионного анализа, показывает независимость величины измеренных смещений от разности горизонтов расположения реперов в рабочей и опорной скважине (коэффициент корреляции значительно ниже статистически значи-

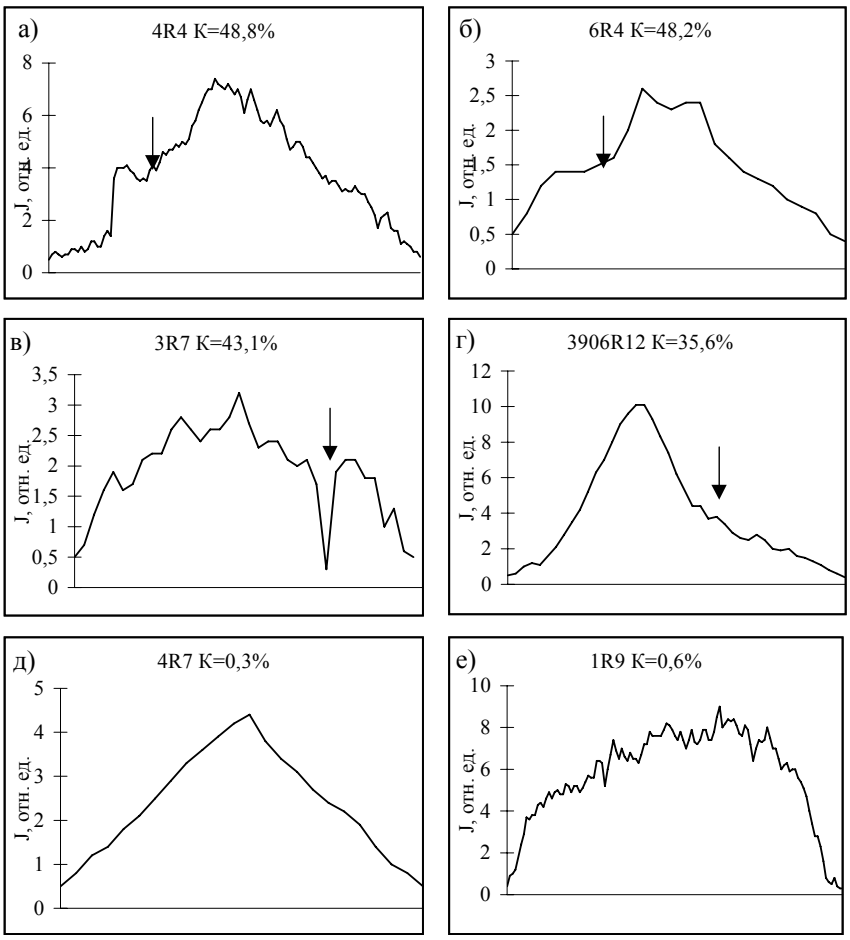


***Рис. 2. Конфигурация реперных аномалий с экстремальными значениями К:*** а-г) – реперы с максимальным значением К; д-е) – реперы с минимальным значением К. Стрелками указаны особенности, снижающие стабильность параметра m реперной аномалии.

мого) и подтверждает ранее установленную независимость погрешности измеренных смещений от абсолютной глубины расположения реперов до глубины 700 м.

Наблюдения за размером выработанного пространства представляют наибольший интерес для технологии, особенно на стадии внедрения СГД на том или ином месторождении, когда производится уточнение геомеханической модели.

Практически выработанное пространство или зона добычных работ представлено структурной неоднородностью и может определяться методами интроскопии массива. Наблюдения за изменением физико-меха-нических свойств горных пород дол-жны проводиться в интересах технологии в пределах опытного участка, добычного поля.

В процессе промышленной отработки предлагаются следующие комплексы геофизических методов:

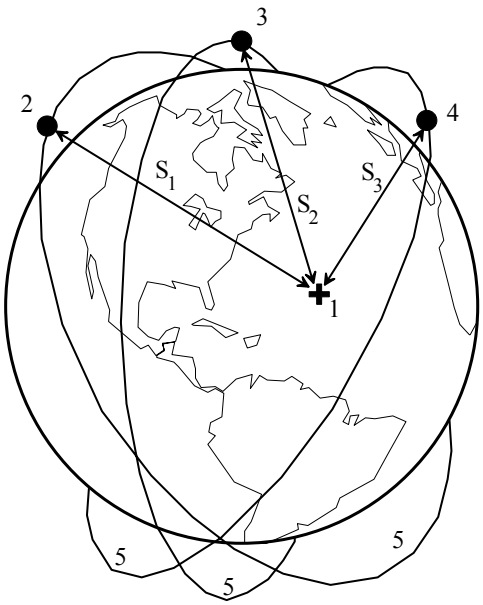


***Рис. 3. Общий пример расположения спутников и приемоиндикатора:*** *1* – точка местоопределения; *2* – 1-й спутник; *3* – 2-й спутник; *4* – 3-й спутник; *5* – орбиты спутников; $S_1$, $S_2$, $S_3$ – псевдодальности удаления соответственно спутников 1, 2, 3 от точки местоопределения

- ТМ, КС, АК для контроля за направлением воздействия струи;
- скважинная геолокация и МСП для изучения морфологии камеры отработки;
- МСП для изучения зон разуплотнения в межскважинном пространстве и морфологии полостей вне зоны отработки;
- СМ, КС, АК, МСП, ТМ для оценки характера деформирования неоднородного массива;
- рентгенно-флюоресцентный анализ пульпы для оценки качества извлеченной руды;
- метод естественного поля (ЕП) для контроля за потоками фильтрации в районе рудохранилищ.

Метод определения координат (x, y, z) фиксируемых точек на земной поверхности с использованием методов спутниковых навигационных систем (GPS) в комплекте с маркшейдерскими и геофизическими методами наиболее приемлем для наблюдений за состоянием массивов горных пород при СГД.

Принцип работы GPS заключается в реализации метода "линейной засечки": зная координаты спутников Земли и дальность удаления каждого из них от антенны приемоиндикатора (псевдодальность), мы можем определить местоположение приемоиндикатора. Для определения трехмерных координат точки стояния достаточно трех спутников (рис. 3).

Задача местоопределения по трем известным координатам и расстояниям решается математическим способом.

Мониторинг за состоянием горных массивов осуществляется путем замеров смещения реперов наблюдательных станций в пределах всей ожидаемой мульды сдвижения или по заданным в ее пределах профильным линиям.

Мониторинг включает два основных этапа, во-первых, определение координат реперов наблюдательных станций или точек, фиксирующих геометрические параметры природных компонентов и, во-вторых, составление графической документации на этой основе. Организация работ наземных сегментов с различными приемоиндикаторами в основном совпадает.

Методически требуется соблюдения такого условия, чтобы передвижная станция располагалась в пределах 50 км от базовой. Теоретически в пределах этой территории основные источники погрешностей одни и те же.

Определение местоположения, полученное на базовой станции, сравнивается

с координатами известного местоположения, и создается вектор погрешностей. При таком режиме используется полный комплект аппаратуры: два приемоиндикатора, две антенны, два накопителя информации и т.д. В качестве накопителей используются портативные компьютеры.

Точность местоопределения при использовании этого режима достигает 0.2-0.3 м при времени наблюдения 6-10 мин. При увеличении времени наблюдения точность увеличивается.

Опыт работы на горных предприятиях показал острую зависимость качества и надежность выполняемой работы на базовой станции от источников питания, поскольку базовая станция должна постоянно находиться в работе. К тому же оператор базовой станции вынужден находиться весь рабочий день, невзирая на погодные условия. Исходя из этого и с целью повышения оперативности и эффективности наблюдений, в институте "ВИОГЕМ" разработана новая методика организации работ. Основной ее идеей является размещение базовой станции в помещении маркшейдерских служб с вынесением антенны на крышу здания.

Маркшейдерское обеспечение СГД позволило расширить следующие важные технологические задачи [4], связанные с технологией гидроизвлечения руд:

1. произвести геомеханическую оценку и прогноз безопасности эксплуатации налегающих массивов горных пород;
2. подтвердить результаты моделирования напряжённо-деформируемого состояния горных массивов;
3. обосновать систему разработки, обеспечивающей рациональность недропользования при освоении месторождений богатых железных руд;
4. разработать систему управления эксплуатацией ресурсов окружающей природной среды при СГД.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***


1. *Стрельцов В.И., Могильный С.Г.* Маркшейдерское обеспечение природопользования недр. – М.: Недра, 1989. – 205с.
2. *Стрельцов В.И., Серышев С.Н., Колесников В.И.* Технические аспекты внедрения технологий СГД железных руд. – М.: Горный информационно-аналитический бюллетень, №4, МГГУ, 2004. – с.261-266.
3. *Журин С.Н., Колесников В.И., Стрельцов В.И.* Природопользование при скважинной гидродобыче богатых железных руд. – М.: НИА-Природа, 2001. – 384с.
4. *Колесников В.И.* Разработка месторождений богатых железных руд способом скважинной гидродобычи. – М.: журнал “Маркшейдерский вестник”, №4, 2005.


## *Коротко об авторах*


*Колесников В.И.* – кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО «Союзруда»,
*Стрельцов В.И.* – доктор технических наук, ФГУП ВИОГЕМ.