

8. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование и геомеханическое обоснование безопасного отвалообразования в зоне воронок и провалов шахты имени Ленина для выполнения технико-экономического обоснования рекультивации района зоны воронок и провалов шахты имени Ленина открытого акционерного общества «Криворожский железорудный комбинат» путем размещения вскрышных пород Первомайского карьера Северного горно-обогатительного комбината»// ГП «НИГРИ», 2009- 27 с.

9. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование горно-геологических, геомеханических условий отработки залежи «Объединенная» (Открытое акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог») с целью определения наличия и состояния пустот под участком автодороги «Техбаза-кладбище «Западное» »// ГП «НИГРИ», 2010- 177 с.

10. Отчет по научно-исследовательской работе «Изучение и определение эффективности методов контроля, которые используются в настоящее время, за напряженно-деформированным состоянием массива горных пород во время разработки месторождений с горно-геологическими условиями, аналогичными условиями шахты им. «Орджоникидзе» »// ГП «НИГРИ», 2011- 152 с.

11. Отчет по научно-исследовательской работе «Исследование степени подработки восточного борта карьера №3 Открытого акционерного общества «АрселорМиттал Кривой Рог» подземными горными работами шахты «Валовко-Северная» и разработка мероприятий по безопасной эксплуатации зданий, сооружений и природных объектов от влияния подземных горных выработок шахты» »// ГП «НИГРИ», 2011- 128 с.

12. **Журавков М.А., Видякин В.В., Коновалов О.Л., Клевченя А.В., Славашевич С.И.** Роль и место ГИС в интегрированной системе регионального геомеханического мониторинга районов крупномасштабной подземной разработки месторождений полезных ископаемых // Сайт Белгосуниверситета.

13. **Маловичко Д.А., Линч Р.Э.** Микросейсмический мониторинг бортов карьеров / Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009. с. 644-653.

14. **Mansurov V. A.** Prediction of Rockbursts by Analysis of Induced Seismicity Data // Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sci., 2001. Vol. 38, №. 6. P. 893-901.

15. **Lynch R.A., Wuite, R., Smith B.S., Cichowicz A.** Micro-seismic monitoring of open pit slopes // Proc. of the 6th Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, ed. Y.Potvin and M.Hudyma. – ACG: Perth, 2005. – pp.581-592.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 622.271.3

Ю.В. ПЕРЕГУДОВ, инженер, ГП «ГПИ«Кривбасспроект»

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В ЗОНАХ ВОЗМОЖНОГО ОБРУШЕНИЯ

Проведен анализ опыта отработки месторождений открытым способом на подработанных от подземной разработки территориях. Приведены основные принципы оценки эффективности разработки.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Особенности строения рудных тел крутопадающих месторождений определяют технологию их отработки. Наличие пластов бедных и богатых руд, их расположение в пространстве, глубина залегания, имеет основное значение при выборе способа отработки - открытого или подземного. В случае благоприятных условий залегания целесообразно применение совместной, открыто-подземной отработки одного месторождения. При этом, развитие подземных и открытых горных работ производится по взаимозависимым технологическим схемам.

На местах крупных рудных залежей, таких как Криворожский железорудный бассейн, промышленная отработка рудных тел началась еще в конце XIX века, и во многих случаях была стихийной. Первоначально, доминирующим способом отработки был подземный, с применением систем с массовым обрушением. Затем, с развитием техники и технологии, начал развиваться открытый способ добычи. Практически на всем протяжении Криворожского железорудного бассейна в разное время существовали подземные либо открытые рудники, ведущие добычу полезного ископаемого. При добыче руды системами с массовым обрушением, в земной коре неминуемо начинаются процессы сдвижения и расслоения покрывающих пород. В случае отработки крупных залежей могут образовываться пустоты в недрах, выходящие в виде воронок провала на поверхность. За время разработки месторождений был накоплен значительный объем непогашенных пустот. Таким образом, при дальнейшем развитии открытых горных работ и доработке карьеров, части бортов карьеров могут оказаться в зоне обрушения и воронкообразования, что требует изыскания безопасных технологий отработки данных участков и анализа эффективности современных методов ведения горных работ на подработанных территориях.

Анализ исследований и публикаций. Проблемы отработки подработанных бортов карьеров нашли отражение в трудах таких известных ученых, как Б.П. Юматов, В.Р. Именитов, А.К. Полищук, В.В. Куликов, Д.М. Казикаев, В.А. Щелканов, Г.И. Черный и др. Наиболее полные результаты исследований в указанном направлении достигнуты на месторождениях Кривбасса, Рудного Алтая, и Северного Кавказа [1-4].

Подработка бортов карьеров возможна при совмещении подземных и открытых горных работ в одной вертикальной плоскости, либо при ведении открытых горных работ в зоне старых подземных выработок. В первом случае, безопасность открытых горных работ достигается с помощью управления зоной обрушения от подземных работ, опережения подземных работ перед открытыми. В случае совмещения горных работ в одной вертикальной плоскости, авторы рекомендуют отработку руд подземным способом вести системами с закладкой выработанного пространства. При повторной отработке месторождений, безопасность достигается с помощью постоянного мониторинга за состоянием массива горных пород, определения опасных участков, и своевременным погашением пустот.

Основные исследования о взаимном влиянии открытых и подземных работ касались разработки взаимоувязанных технологических схем. При этом, меньшее внимание было уделено вопросам отработки участков месторождений открытым способом в зонах накопления старых пустот.

Постановка задачи. Задачей исследования является анализ эффективности ведения открытых горных работ в зоне возможного обрушения и воронкообразования.

Изложение материала и результаты. Ведение открытых горных работ в зонах возможного воронкообразования связано с рядом трудностей. Прежде всего, это определение объема и локализации подземных пустот, места выхода воронок провала на поверхность. Особенностью локализации пустот при отработке залежей на значительных глубинах (свыше 100 м) является изменчивость их положения в пространстве. После отработки залежи, начинается процесс «всплытия» пустоты на поверхность. Это происходит за счет постепенного осыпания кровли пустоты, при этом объем пустоты в процессе всплытия уменьшается. Опасность представляет накопление подземных пустот при отработке большого числа частично или полностью изолированных залежей ограниченной длины. Большое количество пустот затрудняет определение участков на земной поверхности, наиболее опасных по условию внезапного обрушения [4].

Определение местонахождения пустот возможно с помощью комплекса мер, включая анализ маркшейдерской информации, использование геофизических и маркшейдерских наблюдений, бурение разведочных скважин. Геофизическая разведка пустот основана на разности физических (плотности, акустики, электропроводности, магнитной, магнитотеллурической проницаемости и др.) свойств пустоты и окружающего ее горного массива. Бурение скважин с определенным шагом сетки позволяет непосредственно обнаружить местоположение пустоты.

Так, институтом ГП «ГПИ«Кривбасспроект» совместно с ГП «НИГРИ» был разработан проект «Меры охраны карьера №1 в зоне подработки массива подземными горными работами (шахтами ПАО «КЖРК» и ПАО «ЕВРАЗ Суха Балка»)), где с помощью современных методик было дано обоснование наличия и локализации подземных пустот под восточным бортом карьера №1 ПАО «ЦГОК». Согласно анализу маркшейдерской информации, общий объем непогашенных пустот в земной коре достиг 10 млн м³. Было выполнено оконтуривание подземных пустот, а также спрогнозировано вероятное место выхода воронок провала на поверхность карьера.

После определения местоположения пустот необходимо провести расчеты на предмет устойчивости налегающих над пустотой пород, оценить вероятность ее всплытия на поверхность во времени. Сложные горно-геологические условия различных месторождений обуславливают отсутствие единой методики нахождения безопасной потолочины над незаложенными пустотами. Теоретические методы расчета основываются в основном на принципах теоретической механики и теории сопротивления материалов. В связи с этим, широкое применение нашли эмпирические методы расчета, основанные на непосредственных наблюдениях:

Для условий Кривбасса принят следующий критерий образования вторичных воронок обрушения [5]

$$(H_e/m_e) \leq 15,$$

где H_B - вертикальная мощность налегающих пород; m_b - вертикальная мощность рудного тела (или суммарная вертикальная мощность выемки сближенных скважин).

Ведение открытых горных работ над незаложенными пустотами не допускается. Для развития рабочей зоны карьера в области возможного воронкообразования требуется принудительное погашение пустот.

На данный момент, известны два основных способа погашения пустот с поверхности (уступов карьера): обрушение налегающих над пустотой пород взрывом, и заполнение пространства пустоты породами через скважины. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Наиболее экономичный и распространенный способ погашения пустот – обрушение налегающих пород с помощью взрыва. Основными ограничениями для его использования является толщина потолочины, она должна быть не более 30-40 метров, иначе гарантировать приемлемое заполнение пустоты невозможно. Буровзрывной способ с успехом применялся на ряде отечественных и зарубежных рудниках: карьере №1 ПАО «НКГOK», Первомайском карьере ПАО «СевГOK», карьер №1 ПАО «ЦГOK», Никитовском, Хайдарканском, «Медвежий ручей» и Лениногорском рудниках.

На криворожских карьерах расчет параметров БВР выполнялся согласно инструкции по технологическому проектированию массовых взрывов из условия размещения заряда ВВ [6]

$$W_{\text{тор}} = 0,9\sqrt{P_1/q_{\text{ног}}}$$

где P_1 - вместимость 1 м скважины, кг; $q_{\text{ног}}$ - удельный расход ВВ, необходимый для погашения потолочины, кг/м³.

Пустоты, имеющие значительный объем и залегающие на больших глубинах (50 м и более), целесообразно заполнять инертными материалами через скважины большого диаметра. Такой способ позволяет обеспечить наиболее полное заполнение пустоты породами и обеспечивает безаварийность дальнейшей отработки карьера. В качестве закладки могут выступать некондиционные кварциты, дробленые скальные породы, а также гидравлическая твердеющая закладка. Возможны также различные сочетания приведенных материалов. Среди недостатков следует отметить относительно высокие удельные затраты на погашение, повышенное разубоживание руд при открытой разработке участков с камерами или необходимость тщательной селективной выемки закладки из камер, подача в подземные выработки значительного количества воды при гидрозакладке камер.

Помимо наличия пустот в массиве, в результате очистной выемки подземным способом наблюдаются общие деформации земной коры, расслоение массива, повышение его трещиноватости. В результате теряется запас прочности по сравнению с нетронутым массивом. Это требует учета дополнительных факторов при оценке устойчивости подработанных бортов, что в свою очередь может повлиять на параметры системы разработки месторождения. Однако опыт работы отечественных и зарубежных рудников показывает, что при скорости оседания меньше 100 мм в месяц, при условии соблюдения специальных мер безопасности и своевременной подсыпки осевших участков породами, ведение горных работ в зоне плавных сдвижений не имеет существенных трудностей. Изучение физико-механических свойств пород, слагающих массив, определение расположения возможных призм обрушения, определение местоположения основных магистральных трещин позволяет с достаточной точностью оценить запас прочности массива и определить оптимальные углы погашения борта и уступов.

Экономическая выгода в таких условиях возможна, если прибыль от реализации товарной продукции, приращенной благодаря работам в зоне обрушения, превышает затраты на их добычу. Следует отметить, что на крутопадающих рудных месторождениях ведение горных работ в зонах обрушения может позволить прирастить запасы не только в бортах карьера, но и на дне, за счет разноса бортов.

Начало работ по разносу борта следует начинать в благоприятный период высокого спроса на товарную продукцию. Учитывая постоянно возрастающие цены на отчуждение новых земель под разработку полезных ископаемых, это позволит максимально продлить жизнь предприятия, при этом после отработки участка борта его можно будет использовать для размещения внутреннего отвала.

Общая формула для определения себестоимости 1 т сырой руды с учетом стоимости вскрышных пород имеет вид

$$c_m = c_d + c_e * K_e,$$

где c_d - стоимость добычи 1 т руды без вскрышных пород; c_e - себестоимость удаления 1 т вскрышных пород, K_e - коэффициент вскрыши для данного карьера.

При работе в зоне обрушения следует учитывать дополнительные затраты на разведку пустот, на покупку специального бурового и закладочного оборудования, затраты на погашение пустот, на содержание постоянной службы сдвижения. Объем дополнительных затрат зависит от общего объема и параметров пустот, находящихся в недрах.

Если определить вариант разработки месторождения без дополнительных затрат как B_1 , а с вовлечением в отработку запасов, расположенных в зоне воронкообразования, как B_2 , эффективность отработки можно оценить, сравнив прибыль по обоим вариантам. Как известно: $\Pi = D - Z$, где Π - общая приведенная прибыль при отработке месторождения; D - общий доход предприятия; Z - общие затраты на разработку месторождения.

Доход равен произведению общего количества товарной продукции на цену $D = P \cdot Q$.

Сравнив прибыль по первому варианту Π_{e2} с прибылью по второму варианту Π_{e1} , получим вывод о целесообразности второго варианта $\Pi_{e2} \geq \Pi_{e1}$:

$$P_2 (C - c_2) \geq P_1 (C - c_1),$$

где P_1 - количество добытой руды при работе по первому варианту, т; P_2 - количество добытой руды при работе по второму варианту, т; C - цена за реализацию 1 т руды, грн; c_1 - себестоимость добычи 1 т руды по первому варианту, грн; c_2 - себестоимость добычи 1 т руды по второму варианту, грн.

Как видно из выражения, на эффективность в данном случае влияет два основных параметра: себестоимость добычи руды и количество извлекаемой товарной продукции.

При развитии карьеров Криворожского бассейна, возможно возникновение условий, при которых для дальнейшего развития рабочей зоны необходимо будет вести работы в зоне влияния действующих и старых подземных работ. Эта проблема может коснуться таких карьеров, как карьер №1 ПАО «ЦГОК», Первомайского карьер ПАО «СевГОК», Ингулецкого карьера.

Наиболее неблагоприятные условия на данный момент наблюдаются на карьере №1 ПАО «ЦГОК». Здесь, практически весь восточный борт подработан шахтами «Октябрьская» ПАО «Криворожжелезрудком», и шахтой им. Фрунзе ПАО «ЕВРАЗ Сухая Балка». Ситуация осложняется наличием большого объема пустот, значительной глубиной их залегания. Тем не менее, возобновление горных работ на восточном борту является необходимым условием полного извлечения запасов месторождения.

Выводы и направления дальнейших исследований. Опыт работы отечественных и зарубежных карьеров показывает возможность отработки месторождений на подработанных территориях. В то же время, как теоретические, так и практические приемы зачастую выведены эмпирическим путем, и не имеют полноценного научного обоснования. В последующих работах планируется усовершенствовать технологию отработки подработанных массивов открытым способом, разработать технико-экономическую модель с учетом факторов, влияющих на эффективность ведения открытых горных работ.

Список литературы

1. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. М., «Недра» 1972, 328с.
2. Полищук А.К. Открытая повторная разработка железорудных месторождений. Киев, издательское объединение «Вища школа», 1978. – С. 97-177
3. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М.: Недра, 1981. – С. 159-277.
4. Черный Г.И. Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. М.: Недра, 1980. – С. 195-207.
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. Л-д. ВНИМИ, 1975.
6. Щелканов В.А., Сторчак С.А. Комбинированная разработка месторождений, Кривой Рог: КТУ, 1996. 293с.

Рукопись поступила в редакцию 01.02.13