

зону впливання горних розробок, а постійний моніторинг дозволить слідити за можливими небезпечними процесами і попередити їх виникнення.

Список литературы

1. <http://spacegid.ru/krivoj-rog-iz-kosmosa/>
2. Контрольные наблюдения за развитием процессов смещения поверхности и состоянием охраняемых объектов при подземной разработке железной руды шахтами ПАО «ЕВРАЗ Сухая Балка» в 2012 г.» / Отчет по НИР. - Кривой Рог: НИМЛ, 2012. - 27 с.
3. **Здешиц В.М.** / Визначення неоднорідностей та порожнеч в гірському масиві методом спектрального сейсмічного профілювання / **В.М. Здешиц, В.Д. Сидоренко, М.А. Сорокопуд, О.С. Намнат** // Вісник Криворізького технічного університету, 2011. – Кривий Ріг – Вип. 29.– С.78-82.
Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.834: 778.35

В.С. КРАВЕЦ, В.А. ДВОРНИКОВ, кандидаты техн.наук, доц.,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

А.И. ЧИРВА, канд.техн.наук, Дочернее предприятие «Укррудпром», Кривой Рог
А.Л. МОНАХОВ, ПАО «Евраз Сухая Балка», Кривой Рог

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД КРИВБАССА

Приведены результаты обобщения и анализа многолетних инструментальных и экспериментальных исследований процесса сдвижения горных пород в Кривбассе, на основании которых установлены параметры областей обрушения в массиве при разработке залежей I, II и III группы. На основании моделирования установлены зависимости изменения параметров областей обрушения с глубиной отработки. Представлены зависимости изменения оседаний и горизонтальных сдвижений пород лежачего бока от расстояния до выработанного пространства. Полученные результаты позволяют установить современное состояние подработанного массива, а также определить параметры зон обрушения горных пород в массиве.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Железорудные залежи Кривбасса, отрабатываемые подземным способом, отличаются значительным разнообразием своего строения и параметров, а также горно-геологических условий залегания, что обуславливает различие форм и динамику процесса сдвижения горных пород, которые устанавливаются на основании систематических маркшейдерских инструментальных наблюдений.

Анализ исследований и публикаций. По характеру проявления процесса сдвижения на земной поверхности все залежи Кривбасса разделены на три основные группы [1]:

Группа I - залежи, при разработке которых над выработанным пространством образуется область сдвижения горных пород, ограниченная устойчивым сводом, не достигающим земной поверхности. К этой группе относятся слепые гнездообразные залежи, выработанное пространство которых удовлетворяет условию, м

$$H_3 > 1,2h_{св}, \quad (1)$$

где H_3 - глубина верхней границы залежи, м; $h_{св}$ - высота устойчивого свода горных пород, определяемая по формуле, м

$$h_{св} = KL^2, \quad (2)$$

где K - коэффициент, характеризующий устойчивость подрабатываемого массива (0,004-0,020); l - пролет выработанного пространства (меньший), м.

Группа II - залежи, при отработке которых начиная с определенной глубины над выработанным пространством образуется свод устойчивого равновесия и опасных проявлений процесса сдвижения земной поверхности не наблюдается.

К этой группе относятся залежи ограниченного простирания, выработанное пространство которых удовлетворяет условию, м

$$L < \sqrt{H/K}, \quad (3)$$

где L - длина выработанного пространства по простиранию, м; H - глубина отработки, м; K - коэффициент устойчивости массива.

Группа III - залежи, при отработке которых зона сдвижения земной поверхности периодически увеличивается по мере увеличения выработанного пространства. К этой группе относятся пластообразные и шарнирные залежи, комплексы сближенных залежей, если их выработанное простран-

ство не удовлетворяет условиям групп I и II. Эта группа разделяется на три подгруппы.

Подгруппа III₁ - залежи, при отработке которых развитие зоны сдвижения задерживается на длительное время в связи с наличием целиков более 10 % общей площади выработанного пространства.

Подгруппа III₂ - залежи с углом падения до 70°, при отработке которых развитие зоны сдвижения земной поверхности происходит только висячем боку.

Подгруппа III₃ - залежи с углом падения более 35°, при разработке которых в процесс сдвижения вовлекаются не только породы висячего, но и лежачего бока.

Изложение материала и результатов. Для залежей группы I характерный пример динамики развития области сдвижения в пределах $h_{св}$ на основе натуральных наблюдений представлен на рис. 1, из которого видно, что на земной поверхности наблюдаются плавные сдвигения, а процесс обрушения налегающих пород локализуется в массиве.

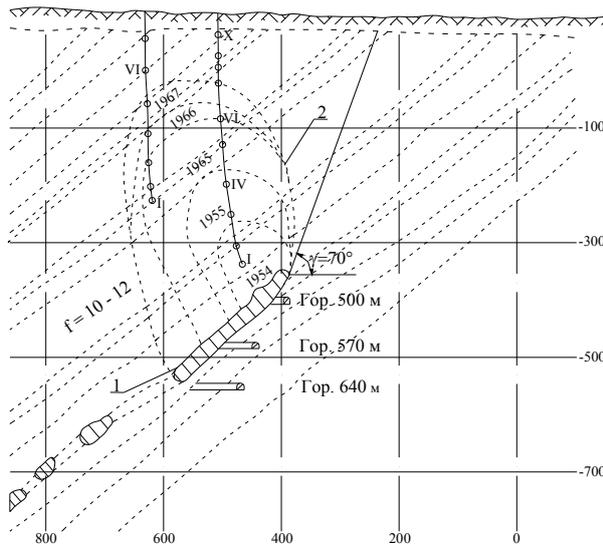


Рис. 1. Динамика развития свода обрушения в массиве: 1 - рудная залежь; 2 - свод обрушения

В процессе подземной отработки залежей группы II над выработанным пространством также образуется область обрушения, высота которой может быть определена по формуле (2) (рис. 2).

На основании исследований [2,3] установлено, что при отработке залежей групп I,II существует высокая вероятность образования первичных воронок обрушения, которая определяется соотношением H/m_e , где H - глубина отработки, м; m_e - вертикальная мощность залежи. При $H/m_e > 10$ воронки обрушения не образуются. Если имеет место перепуск обрушенных пород, то это соотношение составляет $H/m_e > 15$.

Наибольший научный и практический интерес представляют собой исследования процесса сдвижения горных пород при отработке залежей группы III, а особенно подгруппы III₃, к которой относится большинство пластообразных залежей сложного строения Кривбасса.

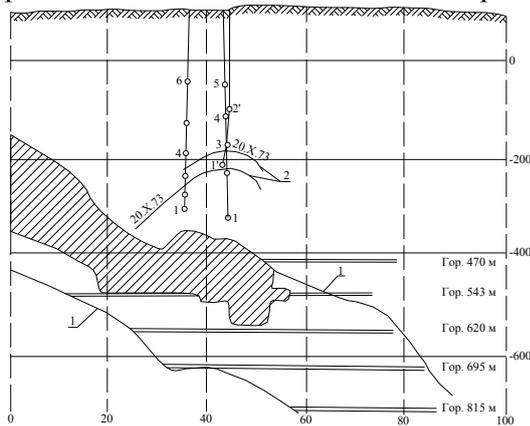


Рис. 2. Образование свода обрушения по залежи «Северная-Червоная»: 1 - контур залежи; 2 - граница свода обрушения по результатам наблюдений в скважинах

В процессе подземной отработки этих залежей до глубины 900-1200 м в массиве образовались три различные по степени нарушенности горных пород области: обрушения, сдвигов, трещины и плавных сдвижений, а на земной поверхности соответственно - зоны воронок и провалов, трещин и террас, плавных сдвижений.

На основе многолетних маркшейдерских наблюдений установлено, что в процессе сдвижения пород висячего бока можно выделить следующие этапы:

При отработке залежей до глубины 350-450 м в массиве происходит формирование области обрушений, а на поверхности - зоны воронок и провалов. Выработанное пространство заполняется за счет налегающих пород и частично пород висячего бока.

При увеличении глубины до 600 м в массиве происходит формирование области обрушения, более активно областей трещин и террас, плавных сдвижений, а на земной поверхности дальнейшее формирование всех трех зон сдвижения и призмы сдвижения пород лежачего бока.

С глубиной от 600 до 900-1200 м на земной поверхности практически не наблюдается образование новых воронок обрушения, выработанное пространство заполняется за счет обрушения пород висячего бока, а также перепуска ранее обрушенных пород вышележащих горизонтов. Деформации пород лежачего бока затухают.

Приведенные закономерности характерны для средней части общей зоны деформирования, где процесс сдвижения получил полное развитие. На торцовых участках залежей сложного строения, имеющих два и более параллельных простирания в большинстве случаев остаются незаполненные участки, представляющие серьезную опасность для ведения горных работ. Локализацию и ликвидацию пустот проводят на основе специальных организационно-технических мероприятий.

Параметры области обрушений определяют из зависимости (2), которая не дает возможность определить изменение $h_{св}$ с глубиной отработки. Поэтому нами были выполнены исследования на моделях из эквивалентных материалов для рассматриваемых условий. При этом фиксировались следующие параметры: $h_{св}$ - высота свода, м; n - величина предельного устойчивого пролета выработки в горизонтальной плоскости, м; m_6 - вертикальная мощность рудной залежи, м; H - глубина отработки, м. На основе проведенных исследований были получены корреляционные зависимости $h_{св}=f(n)$; $h_{св}/n=f(H)$; $h_{св}/m_6=f(H)$ (рис. 3), которые описываются следующими уравнениями, м

$$h_{св} = 31 + 0,5n, \quad (4)$$

$$h_{св}/n = (0.70 + 0.42 \cdot 10^{-2} H) \cdot n, \quad (5)$$

$$h_{св}/m_6 = (0.90 + 0.95 \cdot 10^{-2} H + 10^{-5} H^2) \cdot m_6. \quad (6)$$

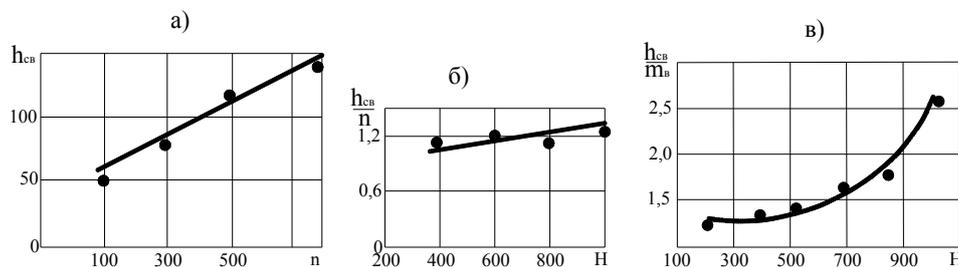


Рис. 3. Основные зависимости высоты свода устойчивого равновесия $h_{св}$: а - от пролета выработки в горизонтальной плоскости (n); б - от зависимости $h_{св}/n = f(H)$; в - от зависимости $h_{св}/m_6 = f(H)$

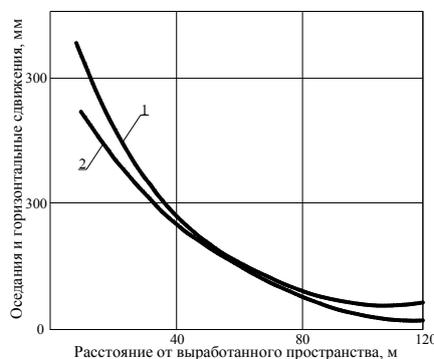
Приведенные выражения учитывают глубину отработки, а также параметры выработанного пространства. Их использование может быть рекомендовано для выполнения предварительных расчетов и подтверждается результатами натуральных наблюдений.

Мощность сдвигающейся призмы пород лежачего бока на этой группе залежей определяется из формулы [1], м

$$m' = m'' + a\sqrt{H}, \quad (7)$$

где m' - мощность сдвигающейся призмы, м; m'' - мощность области сдвигов, м; a - эмпирический коэффициент для каждой залежи, дол. ед.; H - глубина отработки, м.

Величины оседаний и горизонтальных сдвижений определяют из графика (рис. 4), который получен на основе корреляционных зависимостей результатов многолетних натуральных наблюдений.



Активная стадия деформирования пород лежачего бока происходит при отработке залежей до глубины 650 м, а после наблюдается стабилизация и затухание деформационных процессов.

Рис. 4. Графики зависимости оседаний и горизонтальных сдвижений пород лежачего бока от расстояний до выработанного пространства: 1 - оседания; 2 - горизонтальные сдвижения

Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. - Л.: ВНИМИ, 1975. - 66 с.
2. Полищук А.К., Можжерин В.М., Смирнов А.Ф., Кузьмина Р.В., Кравец В.С. Образование воронок при разработке рудных месторождений подземным способом // Горный журнал. - 1972. - №3. - С. 37-40.
3. Сдвигание горных пород на рудных месторождениях / М.А. Кузнецов, А.Г. Акимов, В.И. Кузьмин и др. - М.: Недра, 1971. - 224 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.13