

**А.Г.ШАДРИН**, *д-р техн. наук, профессор, geotech@pstu.ac.ru*

*Пермский государственный технический университет*

**М.А.ШАДРИН**, *канд. техн. наук, главный инженер проектов, (812) 321 85 47*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**A.G.SHADRIN**, *Dr. in eng. sc., professor, geotech@pstu.ac.ru*

*Permian State Technical University*

**M.A.SHADRIN**, *PhD in eng. sc., chief engineer of projects, (812) 321 85 47*

*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОРМЫ И УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ С ГЛУБИНОЙ ГОРНЫХ РАБОТ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Установлено увеличение углов сдвижения с глубиной горных работ и механизм формирования устойчивых сводообразований при подземной разработке рудных месторождений. Определены условия и параметры формирования устойчивых сводообразований, при которых зона опасных деформаций локализуется в массиве и не проявляется на поверхности. Разработаны номограмма для аналитического определения углов сдвижения и таблица условий сводообразований с учетом основных горно-геологических факторов залегания и разработки залежи.

**Ключевые слова:** углы сдвижения, глубина, сводообразование, зона опасных деформаций, номограмма.

## **TRANSFORMATION OF THE FORM AND ANGULAR PARAMETERS OF ROCK MOVEMENT PROCESSES WITH DEPTH AT ORE DEPOSITS**

It was established the increase of movement angles with mining depth and the mechanism of forming the stable natural arching in underground mining of ore deposits. The conditions and parameters of forming the stable natural arching were determined, under which the zone of dangerous deformations localizes inside the ore mass and does not manifest itself on the earth surface. The nomogram for analytical determination of the rock movement angles was developed, and the table was drawn up of the natural arching conditions with due account of main mining-and-geological factors of ore deposit occurrence and its mining.

**Key words:** movement angles, depth, natural arching, the zone of dangerous deformations, nomogram.

Охрана объектов на поверхности от вредного влияния горных работ при подземной разработке месторождений обеспечивается углами сдвижения  $\delta$ ,  $\beta$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma$ . Этими угловыми параметрами ограничивают зону опасных деформаций в массиве и на поверхности по критерию горизонтальной деформации растяжения  $\varepsilon_p = 2 \cdot 10^{-3}$  согласно

действующей инструкции [3]. Фактические значения углов сдвижения для месторождений определялись в результате многолетних инструментальных наблюдений институтами ВНИМИ, Унипромедь, ВИОГЕМ и др. Эти трудоемкие и высокоточные измерения выполнялись для каждого месторождения в соответствии с инструкцией [3], а установ-

ленные угловые параметры утверждались как нормативные в методических изданиях по охране объектов на поверхности в виде правил, инструкций и указаний [3, 8, 9]. В этих изданиях отмечается, что в качестве нормативных параметров принимаются минимальные значения углов сдвижения, полученные в условиях полной подработки, когда пролет выработанного пространства  $L$  превышает глубину горных работ  $H$ , т.е.  $H/L < 1$ . С глубиной, в условиях неполной подработки ( $H/L > 1$ ), углы сдвижения становятся круче, увеличение крепости пород массива способствует увеличению углов сдвижения, а вынимаемая мощность залежи не оказывает влияние на значение угла сдвижения  $\delta$ .

Каждое месторождение характеризуется своими горно-геологическими условиями, конкретное сочетание которых является индивидуальным и неповторимым. Учесть влияние всех факторов на параметры процесса сдвижения в этой ситуации не представляется возможным, как утверждают авторы известной монографии [4]. Поэтому целесообразно выделять основную группу факторов, определяющих процесс сдвижения на любом месторождении, – глубину залегания, размеры рудного тела, структуру и крепость вмещающих пород. В Правилах уточняется, что угловые параметры не зависят от системы разработки с обрушением вмещающих пород, а угол сдвижения по простиранию  $\delta$  не зависит от угла падения пласта [1, § 10, 17]. Эти закономерности и особенности процесса сдвижения на рудных месторождениях учитываются в данной работе. Среди определяющих факторов особо следует выделить глубину горных работ. С глубиной затухает процесс сдвижения, исчезают провалы, уменьшаются оседания и деформации земной поверхности. В условиях СУБРа, где горные работы ведутся на глубине 900 м, процесс сдвижения не выходит на земную поверхность и полностью локализуется в массиве. Специальным заключением здесь прекращены инструмен-

тальные наблюдения за сдвижением поверхности в связи с их отсутствием.

В работе [7] впервые было установлено, что при определенном соотношении глубины горных работ  $H$  к размеру обрабатываемой залежи по простиранию  $l$  наступает стабилизация зоны сдвижения на земной поверхности. При разработке мощных крутопадающих залежей ограниченного простирания в Кривбассе это соотношение изменяется в зависимости от угла падения пласта от 0,9 до 1,3. Угол сдвижения в этих условиях последовательно увеличивается с  $50-60^\circ$  при отработке верхних горизонтов до  $80-90^\circ$  при  $H = (1,0-1,3)l$ , затем закрывается на свод [7, 9].

Образование сводов естественного равновесия в подрабатываемом массиве установлено как на угольных, так и на рудных месторождениях. В слоистом подрабатываемом массиве процесс обрушения развивается от слоя к слою с последовательным увеличением консольно-зависающей части слоев до встречного их смыкания в замке свода. Натурными наблюдениями и специальными исследованиями [5, 6, 10] установлены закономерности формирования сводов естественного равновесия в подрабатываемом массиве, основные параметры сводообразования и критерии устойчивости обнажений на рудных месторождениях. Наглядным примером этого природного явления может служить формирование свода обрушения над подготовительными выработками.

В зависимости от степени слоистости массива и крепости пород сводообразование принимает форму полуокружности или полуэллипса [5, 10]. Основным параметром свода является его высота  $h$ , которая определяется пролетом выработки  $L$  и крепостью пород  $f$ . Пролет обрушения и высота свода не зависят от вынимаемой мощности, а определяются только структурой и физико-механическими свойствами пород массива [2, 6, 11]. В подрабатываемом массиве неслоистого типа зона обрушения развивается на высоту  $h = (0,4-0,5)L$  и близка к круговой

кривой. Для слоистого массива с такими же прочностными показателями соотношение  $h/L$  приближается к единице, а свод принимает форму полуэллипса. Со временем под влиянием концентрированных напряжений по контуру свода развиваются деформации скалывания и свод принимает более устойчивую шатровую форму. Устойчивость сводообразования во времени обеспечивается еще и самоподбучиванием свода за счет разрыхления обрушенных пород, которые блокируют дальнейшее развитие зоны обрушения в массиве. В условиях СУБРа, Шерегешевского и Узельгинского месторождений зона обрушения ограничивается высотой  $h \approx 0,5L$ , а зона водопроницающих трещин не выходит за пределы  $h \approx L$ .

Исследованиями установлено, что с глубиной меняется схема сдвижения горных пород в подрабатываемом массиве от открытой формы, с образованием провалов и полноценной мульды сдвижения на поверхности, на закрытую, когда зона опасных деформаций не выходит на поверхность, а локализуется в массиве. Форма и величина сдвижения земной поверхности определяется заглубленностью выработки, т.е. отношением  $H/L$ . В условиях заведомо полной подработки ( $H/L \ll 1$ ) имеет место открытая форма сдвижения с выходом провала на поверхность. На этом этапе подработки наблюдаются минимальные углы сдвижения и максимальные сдвиги земной поверхности. При заглубленности  $H/L > 1,0-1,3$  углы сдвижения увеличиваются, принимают максимальные значения и создаются условия для перехода к закрытой форме сдвижения. В условиях заведомо неполной подработки ( $H/L > 2$ ) изолинии опасных деформаций меняют знак кривизны, замыкаются на свод и не выходят на поверхность.

По результатам выполненных исследований, используя теоретические разработки [10, 11] и фактические значения угловых параметров, представленные в нормативной и специальной литературе, построена общая номограмма связи угла  $\delta$  с основными фак-

торами влияния и показательная таблица условий сводообразования. Номограмма и таблица проверены по фактическим горно-геологическим условиям разработки медно-рудных и железорудных месторождений. С помощью номограммы, с учетом конкретных условий залегания и разработки рудных залежей методом интерполирования определяется угол сдвижения  $\delta$  для месторождений слоистого и неслоистого типа.

Для рудных тел с углом падения  $\alpha$  углы сдвижения  $\beta$  и  $\gamma$  вычисляются по формулам:  $\beta = \delta - \alpha \cos^n(\alpha)$ ;  $\gamma = \delta + \alpha \cos^n(\alpha)$ , где  $n$  – показатель структуры и крепости пород массива. В соответствии с работой [10] угол сдвижения пород лежащего бока  $\beta_1$  определяется в зависимости от угла падения рудного тела: при  $\alpha \leq 65^\circ$  угол  $\beta_1 = \alpha$ ; при  $\alpha > 65^\circ$  угол  $\beta_1 = \beta$ .

В результате выполненных исследований раскрыт механизм увеличения углов сдвижения с глубиной горных работ и преобразования их в форму устойчивого сводообразования для заглубленных выработок. На основе разработанной номограммы появляется возможность предварительного определения углов сдвижения для проектируемых и неизученных месторождений без длительных и трудоемких натуральных наблюдений. Средняя погрешность определения углов сдвижения по данной методике находится в пределах  $\pm 3^\circ$  относительно табличных данных, представленных в правилах и инструкциях.

Практическая ценность работы не ограничивается номограммой оперативного определения углов сдвижения для конкретного участка или месторождения. Условия и параметры формирования устойчивых сводообразных обнажений для заглубленных выработок позволяют обоснованно применять системы с обрушением при выемке запасов из предохранительных целиков, в том числе и под водными объектами. Такие научно-исследовательские работы выполнены кафедрой маркшейдерского дела, геодезии и геoinформационных систем ПермГТУ на

месторождениях СУБРа в 2005 г., для Узельгинского месторождения в 2006 г. и для Шерегешевского месторождения в 2007 г.

Вулкано-осадочное происхождение Шерегешевского месторождения железных руд в Горной Шории проявляется большим разнообразием структурных форм залегания рудных тел. Глубина залегания запасов под водным объектом (400 м) и высокая крепость вмещающих пород ( $f_{cp} = 16$ ) являются весьма благоприятными факторами формирования устойчивых сводообразных обнажений при большой горизонтальной мощности залежи ( $m_{cp} = 70$  м).

Согласно разработанной и опробованной методике построения [11] зона опасных деформаций по критерию  $\varepsilon_p = 2 \cdot 10^{-3}$  в подработанном массиве ограничивается сводом в форме полуэллипса с основанием  $l$  и высотой  $h = l$ , где  $l$  – пролет зоны опасных деформаций на верхнем горизонте отрабатываемого этажа. Этот пролет определяется углами сдвига  $\beta_1$  и  $\beta$  на разрезе вкрест простирания залежи в пределах отрабатываемого этажа. Высота зоны опасных деформаций над выработкой в этих условиях составляет 140 м.

В качестве контрольного обоснования этой границы выполнен расчет ожидаемых сдвижений и деформаций на уровне горизонта 410 м по методике, изложенной в работе [10]. Заглубленность выработки относительно этого горизонта составляет  $H/L = 1,5$ . Максимальные оседания составили 1200 мм, максимальные горизонтальные деформации растяжения  $\varepsilon_p = 1,96 \cdot 10^{-3}$ . Высота развития зоны обрушения и крупных трещин ограничивается горизонтом 350 м. Вышележащий массив над горизонтом 410 м высотой 200 м находится вне зоны опасного влияния горных работ и служит дополнительной защитой поверхности от вредного влияния горных работ.

Успешный опыт обработки запасов в условиях прямой подработки водных объектов системами с обрушением на рудных месторождениях Кривого Рога и Урала свиде-

тельствует, что безопасность работ и сохранность объектов на поверхности обеспечивается, в первую очередь, заглубленностью выработки ( $H/L > 2-3$ ) и высокой крепостью вмещающих пород. Не менее важно при этом правильно оценить нарушенность массива и ее влияние на деформации массива по параметру  $f_{cp}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на рудных месторождениях / ВНИМИ. Л., 1966.
2. Илимбетов А.Ф. Обоснование рационального способа управления горным давлением при отработке рассредоточенных рудных тел: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2003.
3. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений / МЦМ СССР. М.: Недра, 1988.
4. Кузнецов М.А. Сдвижение горных пород на рудных месторождениях / М.А.Кузнецов, А.Г.Акимов, В.И.Кузьмин. М.: Недра, 1971.
5. Кузнецов М.А. Основные результаты исследования сдвижения горных пород и земной поверхности на рудных месторождениях / М.А.Кузнецов, В.С.Троицкий // Сб.тр. ВНИМИ. № 76. Л., 1970.
6. Кузнецов М.А. Условия разрушения сводов естественного равновесия в толще пород / М.А.Кузнецов, В.В.Громов // Сб.тр. ВНИМИ «Охрана сооружений от вредного влияния горных работ и расчет устойчивости бортов угольных разрезов». Л., 1983.
7. Лавриненко В.Ф. Закономерности проявления горного давления на рудниках Кривбасса / В.Ф.Лавриненко, Ю.А.Иванов, М.И.Кандыба // Горный журнал. 1961. № 6.
8. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ при разработке меднорудных месторождений Урала / МЦМ СССР. М., 1978.
9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне / МЦМ СССР. ВНИМИ. Л., 1975.
10. Шадрин А.Г. Теория и расчет сдвижений горных пород и земной поверхности / КГУ, 1990.
11. Шадрин М.А. Исследование сводообразования и водопроницаемости подрабатываемых массивов для управления водопритоками на рудниках СУБРа / М.А.Шадрин, А.Г.Шадрин // Горный журнал. 2005. № 9-10.

## REFERENCES

1. Temporary Regulations for protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mining at ore deposits / VNIMI. Leningrad, 1966.
2. Ilimbetov A.F. Substantiation of rational method for rock pressure control in mining of dispersed ore bodies. Synopsis of thesis. Magnitogorsk, 2003.

3. The Instructions on observations for movements of rocks and the earth surface in underground mining of ore deposits / MTsM USSR. Moscow: Nedra, 1988.
4. *Kuznetsov M.A.* Rock movements at ore deposits / M.A.Kuznetsov, A.G.Akimov, V.I.Kuzmin. Moscow: Nedra, 1971.
5. *Kuznetsov M.A.* Main results of investigations of movement of rocks and the earth surface at ore deposits / M.A.Kuznetsov, V.S.Troitsky // Proc. VNIMI. Leningrad, 1970. № 76.
6. *Kuznetsov M.A.* Conditions of break-down of natural arches in rock strata / M.A.Kuznetsov, V.V.Gromov // Proc. VNIMI. Protection of constructions from harmful influence of mining operations and calculation of slope stability at coal open-pit mines. Leningrad, 1983.
7. *Lavrinenko V.F.* Regularities of rock pressure manifestations in ore mines of the Krivorozhie basin / V.F.Lavrinenko, Yu.A.Ivanov, M.I.Kandyba // Mining Journal. 1961. № 6.
8. Regulations for protection of constructions and natural objects from harmful during the Urals copper ore deposits mining / MTsM USSR. Moscow: Nedra, 1978.
9. Regulations for protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mining operations in the Krivorozhie iron ore basin / MTsM USSR / VNIMI. Leningrad, 1975.
10. *Shadrin A.G.* Theory and calculation of movement of rocks and the earth surface / KGU. 1990.
11. *Shadrin M.A.* Investigation of natural arching and water permeability of underminable rock mass for control of water inflows at ore mines of SUBR / M.A.Shadrin, A.G.Shadrin // Mining Journal. 2005. № 9-10.