

Кожаяев Ж.Т., Салкынов А.Т.,
Спицын А.А., Байгурин Ж.Д.,
Алтаева А.

**Теоретический аспект
эффекта кинематического
разрыхления
при выпуске руды**

В статье приводится теоретический подход обоснования показателей извлечения руд при ее выпуске с учетом коэффициента кинематического разрыхления обрушенной породы. Совершенствована теория выпуска руды в «зажатой среде» под обрушенными породами налегающей толщи, в условиях образования эллипсоид выпуска, в пределах которого обеспечивается оптимальная полнота извлечения отбитой руды. В лабораторных условиях, приближенных к реальным условиям, на модели исследованы процессы выпуска сыпучих материалов. Описана кинематика движения рудной массы и определен коэффициент разрыхления массива, вовлеченного в движение руды при ее выпуске из выемочного блока. Использование кинематического коэффициента разрыхления технологических расчетов повысило сходимость теоретических результатов при выпуске руды из блока с практическими на 10-12%.

Ключевые слова: потери и разубоживания, эллипсоид выпуска, кинематический и статический коэффициент разрыхления.

Kozhayev Zh.T., Salkynov A.T.,
Spitsyn A.A., Baygurin Zh.D.,
Altayeva A.

**The theoretical aspect of the
kinematic effect of loosening the
issuance of ore**

This paper presents a theoretical approach justify recoveries ores at its release, taking into account the kinematic loosening caving. Improve the theory of ore output in the "medium sandwiched" by caving strata overlap, in terms of education issue ellipsoid within which ensures optimum extraction completeness of broken ore. Under laboratory conditions, close to real conditions on the model, the processes of manufacture of bulk materials. We describe the kinematics of movement of ore and determined the array factor of loosening involved in the movement of ore during its release from the excavation unit. Using the ratio of the kinematic calculations increased loosening of technological convergence of the theoretical results with the release of a block of ore with 10-12% practice.

Key words: loss and dilution, ellipsoid release, kinematic and static coefficient of loosening.

Кожаяев Ж.Т., Салкынов А.Т.,
Спицын А.А., Байгурин Ж.Д.,
Алтаева А.

**Кен шығару кезінде қопсытуды
кинематикалық әсерін
теориялық дәлелдеу**

Мақалада бұзылған кеннің кинематикалық қопсытылған коэффициентін есепке ала отырып, кенді шығарудағы дәлелдеу көрсеткіштерінің теориялық тәсілі көрсетілген. Уатылған кенді оңтайлы толық алуды қамтамасыз ету шегінде, эллипсоидты түрінде кенді алудың шама-шартын, бұзылған жыныстың «қысымды орта» шеңберінде кенді алып шығудың теориясы жаңартылды. Зертханалық жолдармен шашыраңқы материалдарға жақын түрдегі моделін зерттелу процесстері арқылы жасалды. Кен массасының жылжуының кинематикасы жазылды және массаның қопсыту коэффициенті анықталды, қазылатын блоктан алынатын кеннің жылжуына тікелей қатысты болып жасалды. Техникалық есепте қопсытудың кинематикалық коэффициентін қолдану, блоктан алынатын кеннің практикалық жағдайда 10-12 %-ға теориялық нәтижелерін жоғарлататыны анықталды.

Түйін сөздер: жоғалым мен құнарсыздану, шығарудың эллипсоиды, қопсытудың кинематикалық және статикалық коэффициенті.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ЭФФЕКТА КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАЗРЫХЛЕНИЯ ПРИ ВЫПУСКЕ РУДЫ

Введение

Обоснование нормативных значений количественных и качественных показателей руды в настоящее время требует новых подходов по оценке их рационального уровня, акцентируя особое внимание на качество добываемой продукции. Количество и качество продукции при разработке месторождений определяют такие взаимосвязанные категории, благодаря которым можно установить эффективность развития горного предприятия по добыче полезных ископаемых. Из практики известно, что количество добываемой руды (или теряемой руды) выражает внешнюю сторону или определенность извлеченной горной массы из недр. Качественная сторона определяет или выражает существенную значимость добываемой продукции (качество добываемого металла, нормативы потерь и разубоживания руды и другие технологические показатели), от которых зависит технико-экономические показатели горного предприятия. Лабораторией технологии горного производства УГР ТОО «Корпорация Казахмыс» выполнен «Технологический регламент на отработку запасов подземного рудника Нурказган», в котором обоснована целесообразность отработки балансовых запасов руды системой подэтажного обрушения [1, 2, 3].

Район исследования

Показатели потерь и разубоживания при системах разработки с обрушением Нурказганского рудника из-за выпуска руды в зажатой среде взаимозависимы. При увеличении потерь отбитой руды (неполный выпуск руды) уменьшается разубоживание руды и наоборот. На полноту извлечения и величину разубоживания руды влияют следующие факторы: физические свойства, влажность и гранулометрический состав отбитой руды и обрушенных вмещающих пород, состояние их разрыхления, горное давление, параметры и режим выпуска, мощность, угол падения залежи, число плоскостей, по которым блок граничит с пустыми породами. Согласно общепринятой теории выпуска руды в «зажатой среде» под обрушенными породами налегающей толщи образуется эллипсоид выпуска, в пределах которого

обеспечивается достаточная полнота извлечения отбитой руды. С целью снижения потерь и разубоживания данным проектом принята ромбовидная форма очистного забоя со следующими размерами: длинная диагональ по высоте – 30 м и короткая диагональ по ширине – 15 м. Данная вытянутая форма забоя идеально совпадает

с формой эллипсоида выпуска и прогнозируется получение достаточно выгодных показателей потерь и разубоживания [3].

Система подэтажного обрушения характеризуется значительным количеством вариантов и модификаций. Они отличаются друг от друга в широких пределах (рисунок 1):



Рисунок 1 – Количество вариантов и модификаций системы подэтажного обрушения

Исходные данные и методы исследования

Особенностью теории выпуска руды являются повышение интенсивности очистной выемки руды и максимальное обоснование показателей извлечения руды и блоков. Организация процесса выпуска руды остается актуальной для систем разработки с обрушением и требует постоянного совершенствования для улучшения качества добываемой руды и снижения потерь в недрах.

Многие исследования физических свойств обрушенной руды проводились в полевых и лабораторных условиях для совершенствования теории выпуска руды для системы подэтажного обрушения.

Изучение характера внутренних перемещений частиц сыпучего материала в зависимости от выпущенного объема представляет значительный интерес для практики, поскольку установление закономерностей этих явлений важно для выбора порядка выпуска, снижения разубоживания и научно обоснованного решения других вопросов, связанных с применением систем с обрушением.

Результаты и обсуждение

В лабораторных условиях на модели при исследовании процессов выпуска сыпучих материалов из отверстий даже не «вооруженным» глазом наблюдается некоторое разрыхление массива, вовлеченного в движение. Поэтому нам представляется интересным исследовать степень влияния таких процессов на величину коэффициента разрыхления.

Условимся называть коэффициент разрыхления неподвижной сыпучей среды (руда после обрушения) статическим коэффициентом разрыхления $K_{рс}$. Коэффициент разрыхления сыпучей среды при относительном движении ее частиц назовем кинематическим коэффициентом разрыхления $K_{рк}$. Само явление дополнительного разрыхления при движении частиц сыпучей среды – эффектом кинематического разрыхления.

Физическая сущность такого разрыхления заключается в следующем по определению:

$$K_p = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (1)$$

или для неизменной массы

$$K_p = \frac{m}{\frac{V_0}{V}} = \frac{V}{V_0}, \quad (2)$$

где

ρ_0 и ρ – плотности в уплотненном (начальном) и разрыхленном (после обрушения) состояниях;

V и V_0 объемы в уплотненном (начальном) и разрыхленном (после обрушения) состояниях.

При начале сдвижения частиц в направлении выпускающего отверстия происходит «расплывание» объема разрыхленного состояния V , массой m в неподвижном (статическом) состоянии до объема V_k – объем занимаемый массой m при сдвижении ее частиц. Увеличение объема связано с тем, что выбранная масса сыпучего массива начинает движение в сторону воронки послойно, вследствие чего расстояние между слоями, движущимися с разными скоростями, будет расти, что и приводит к увеличению объема и соответственно кинематического коэффициент разрыхления:

$$K_{pk} = V_k/V_0 = \rho_0/\rho_k. \quad (3)$$

Расплывание объема наглядно следует из свойств эллипсоида выпуска. Поверхность эллипсоидов – это геометрическое место таких частиц, время движения которых к выпускному отверстию одинаково. Для выполнения этого условия частицы на поверхности эллипсоида спуска должны иметь различные скорости. Таким образом, в любом выделенном объеме движущегося массива, ограниченного одной поверхностью, лежащей на поверхности эллипсоида спуска, частицы объема будут двигаться с различными скоростями, обуславливая его развитие.

Различие в скоростях движения частиц вызывает наблюдаемое при опыте трение их друг от друга и, как следствие, измельчение (вторичное разрыхление). Следует отметить, что, несмотря на общий подход к введению коэффициента кинематического разрыхления K_{pk} и коэффициента вторичного разрыхления K_{pb} [1], принципиальное отличие заключается в следующем: K_{pk} при сдвижении всегда больше K_p , а K_{pb} может быть больше или меньше K_p . Так с уменьшением коэффициента начального (статического) разрыхления коэффициент вторичного разрыхления возрастает и наоборот. Это связано с тем, что K_{pb} определяется из объема эллипсоида разрыхления, а K_{pk} из эпюр скоростей эллипсоида спуска. Коэффициент K_{pk} существует только при движении сыпучих материалов и при прекращении

движения переходит во вторичный коэффициент разрыхления K_{pb} .

Оценка величины изменения разрыхления проводилась опытным путем, исследуя свободное стечение сыпучего материала в виде песка фракции 1-3 мм через отверстие на лабораторном макете способом, основанным на зависимости электроемкости конденсатора при его постоянных геометрических размерах только от диэлектрической проницаемости среды, помещенной между его пластинами. Диэлектрик во внешнем электростатическом поле поляризуется, т.е. приобретает отличный от нуля электрический дипольный момент $\vec{P}_m = \sum \vec{P}_{mi}$, где \vec{P}_{mi} – дипольный момент молекулы. Степень поляризации диэлектрика характеризуется поляризованностью, определяемой дипольным моментом единицей объема диэлектрика:

$$\vec{P} = \frac{P_V}{V} = \frac{\sum P_i}{V} = n \vec{P}_{mi}, \quad (4)$$

где

n – число молекул единицы объема,

\vec{P}_{mi} – средний дипольный момент одной молекулы.

По определению

$$n = \frac{m}{m_0} = \frac{\rho V}{m_0} \quad (5)$$

где

m – масса единицы объема V ,

m_0 – масса одной молекулы.

Из определения n , поляризуемости \vec{P}_m и ее линейной зависимости от напряженности электростатического поля:

$$E - P = \alpha \varepsilon_0 E, \quad (6)$$

где

$\alpha = \varepsilon - 1$ – диэлектрическая восприимчивость, характеризующая свойства диэлектрика, следует линейная зависимость n и ρ от ε .

Электроемкость конденсатора C_0 в вакууме и электроемкость конденсатора C , между обкладками которого помещен диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε , связаны соотношением $C = \varepsilon C_0$.

В нашем эксперименте для решения поставленной задачи конденсатор с обкладками в виде полуцилиндров диаметром, равном диаметру выпускного отверстия, устанавливается коаксиально отверстию (ось отверстия совпадает с осями полуцилиндров) непосредственно перед затвором.

Принципиальная электрическая схема измерения приведена на рисунке 2. и собрана на элементной базе производства фирмы «RHYWE» (Германия).

Пластина измерительного конденсатора с повышенной изоляцией подсоединена к верхнему соединителю высоковольтного источника питания через защитный резистор сопротивлением 10 МОм. Высоковольтный источник питания и другая пластина измерительного конденсатора заземляются через конденсатор 220 нФ с универсальным измерительным усилителем, который соединен с вольтметром. Электрический заряд на измерительном конденсаторе определяется по напряжению на известном конденсаторе 220 нФ.

Измерения проводились в двух режимах: при закрытом затворе (неподвижный массив) определялась величина емкости C_c ; при открытом затворе (истечение сыпучего материала из отверстия) – величина C_k . По отношению этих величин в свою очередь находят отношения диэлектрических проницаемостей, плотностей и, следовательно, коэффициентов разрыхления в этих режимах:

$$\frac{C_k}{C_c} = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_c} = \frac{\rho_k}{\rho_c} = \frac{K_{рк}}{K_{рс}} \quad (7)$$

Измерения проводились для различных диаметров отверстий и высот наполнения лабораторного макета сыпучим материалом.

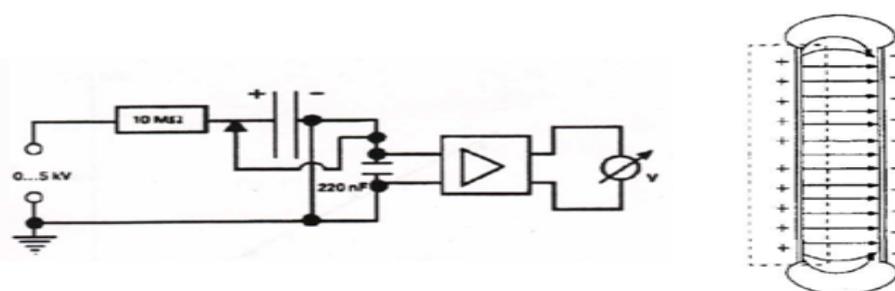


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема установки

Таблица 1 – Результаты экспериментов

Диаметр выпускного отверстия d , см	Высота слоя песка над отверстием h , см	Отношение h/d	Отношение $K_{рк} / K_{рс}$	Отношение $(K_{рк} / K_{рс})_{ср}$	Площадь сечения отверстия S , см ²	Расход песка q , см ³ /с	Средний расход песка $q_{ср}$, см ³ /с	Средняя скорость истечения v , см/с	Отношение v/d
2	30	15	1,10	1,14	3,14	64,3	64,7	20,6	10,3
	60	30	1,15			64,8			
	90	45	1,18			65,6			
3	30	10	1,20	1,21	7,07	239	243,3	34,4	11,5
	60	20	1,21			242			
	90	30	1,23			249			
4	30	7,5	1,25	1,26	12,56	500	520,3	41,4	10,6
	60	15	1,26			521			
	90	22,5	1,28			540			
5	30	6	1,29	1,31	19,6	959	1017,7	51,9	10,4
	60	12	1,31			983			
	90	18	1,32			1111			
6	30	5	1,34	1,36	28,26	1712	1749,6	61,9	10,3
	60	10	1,36			1755			
	90	15	1,37			1782			

Выводы

Наряду с решением поставленной задачи, учитывая возможности лабораторной установки, нам представилось интересным повторить опыты по выпуску песка такой же фракции, которые были выполнены под руководством Г.М. Малахова. Результаты хорошо согласуются с опытными данными, полученными из предыдущих экспериментов, которые подтверждаются следующими выводами:

- а) постоянство расходов сыпучих материала;
- б) средняя скорость истечения сыпучего материала из отверстия возрастает прямо пропорционально диаметру отверстия. Это позволяет по среднему значению отношения величины скорости к диаметру оценить скорость истечения сыпучего материала через отверстие произвольного диаметра.

Хорошая сходимость опытных данных указывает на достоверность полученных результатов и правильность выбранной методики эксперимента.

Из таблицы видно, что отношение предложенными нами кинематического коэффициента разрыхления $K_{рк}$ к статическому разрыхлению $K_{рс}$ изменяется от 1,1 до 1,37 с увеличением диаметра отверстия от 2 до 6 см (коррелирующего со средней скорости истечения или среднего расхода). Значительный рост коэффициента разрыхления указывает на необходимость учета этого факта во всех расчетах, связанных с процессами выпуска руды.

Использование коэффициента разрыхления технологических расчетов потерь и разубоживания руды для системы поэтажного обрушения в условиях Нурказганского месторождения повысило сходимость теоретических результатов при выпуске руды из блока с практическими на 10-12%.

Литература

- 1 Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. – М.: Недра, 1968. – С. 311.
- 2 Проблемы техногенного преобразования недр Земли. – М.: ИПКОН РАН, 2007. – С. 322.
- 3 Понамарев В.В., Баядилова У.К. Подготовка и отработка запасов п/э 260м и 245м месторождения Нурказган, участок Западный, блок Южный. – Караганда: ПО «Карагандацветмет», 2012. – С. 40.

References

- 1 Malakhov G.M., Bezukh V.R., Petrenko P.D. Theory and practice of production of ore. – M.: Subsoil, 1968. – P. 311.
- 2 Problems of technogenic transformation of a subsoil of Earth. – M.: IPKON RAHN, 2007. – P. 322.
- 3 Ponomarev V.V., Bayadilova U.K. Podgotovka and working off of reserves of polyethylene 260m and 245m of a field Nurkazgan, site Western, block Youzhny. – Karaganda: ON «Karagandatsvetmet», 2012. – P. 40.