DOI: 10.18454/PMI.2017.1.37

Горное дело

УДК 622.236

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОНТАКТА НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРИКОНТАКТНЫХ ЗОН

Г.С.КУРЧИН[1], С.А.ВОХМИН[1], А.А.КЫТМАНОВ[2]
[1] *Институт горного дела, геологии и геотехнологии. Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*
[2] *Институт космических и информационных технологий. Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

В России использование минерально-сырьевой базы ведется в особо крупных масштабах, а горно-промышленный комплекс по существу является базовой отраслью для поддержания и развития экономики нашей страны. Это предопределяет необходимость бережного и ответственного отношения к богатствам наших недр – полезным ископаемым. В связи с этим одним из ключевых требований к технологиям очистной выемки становится минимизация уровня потерь и разубоживания руды.

Наибольшие уровни потерь руды в массиве формируются при отработке участков контакта рудных тел с вмещающим породным массивом вследствие несовпадения контура отработки с поверхностью геологического контакта. Сложность контакта руды и вмещающих пород принято характеризовать так называемой «зоной стохастичности контакта». Технологическая сложность отработки руды на контакте руда – порода определяется изменчивостью геометрических параметров «зоны стохастичности» по плоскости геологического контакта.

В настоящей статье рассмотрены вопросы нормирования потерь и разубоживания при отработке приконтактных зон. Предложена методика расчета нормативных величин потерь и разубоживания в зоне стохастичности. Авторами разработан алгоритм определения формы контакта. В зоне стохастичности контакт может принимать прямоугольную, синусоидальную, пилообразную и прямую формы. Исследованиями установлено влияние формы контакта на уровни потерь и разубоживания руды, приведены формулы для расчета нормативов. Используя предложенную в работе методику, можно наиболее просто и достоверно определить нормативные величины потерь руды на контактах.

***Ключевые слова*:** расчет, приконтактная зона, нормативы, потери, разубоживание, руда

***Как цитировать эту статью*:** Курчин Г.С. Влияние формы геологического контакта на величину потерь при отработке приконтактных зон / Г.С.Курчин, С.А.Вохмин, А.А.Кытманов // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 37-43. DOI 10.18454/PMI.2017.1.37

Введение. Проблема рациональной отработки месторождений полезных ископаемых и поиска технологических решений, при которых достигаются экономически приемлемые показатели извлечения из недр, одна из наиболее актуальных в горной отрасли.

Невозобновляемость запасов полезных ископаемых в недрах, значительные потери минерального сырья в процессах добычи и переработки полезного ископаемого в товарную продукцию, растущие темпы потребления ресурсов недр, вызванные стремительным развитием науки и техники и ростом населения планеты, несовершенство правовых и экономических отношений собственника недр (государства) и недропользователей (коммерческих предприятий) – основные предпосылки появления данной проблемы.

Для России решение задач рационального недропользования имеет исключительное значение, поскольку использование минерально-сырьевой базы ведется в особо крупных масштабах, а горно-промышленный комплекс по существу является базовой отраслью для поддержания и развития экономики страны [4, 9, 10].

В связи с этим одним из ключевых требований к технологиям очистной выемки становится минимизация уровня потерь и разубоживания руды [16-19].

При этом вопросы допустимости в том или ином случае потерь и разубоживания должны решаться на основании их научно обоснованной экономической оценки, поскольку достоверное определение нормативных величин потерь и разубоживания полезных ископаемых имеет огромное значение для решения большинства важнейших горно-экономических задач [11-12].

Методика расчета нормативных величин потерь и разубоживания руды. Наибольшие уровни потерь руды в массиве формируются при отработке контактных участков рудных тел с вмещающим породным массивом вследствие несовпадения контура отработки с поверхностью геологического контакта [13]. Это несовпадение предопределяется изменчивостью пространственного положения контакта руда – порода [15].

Согласно [14] сложность контакта руды и вмещающих пород принято характеризовать так называемой зоной стохастичности контакта (ЗС), в пределах которой изменяется пространственное положение геологического контакта.

DOI: 10.18454/PMI.2017.1.37

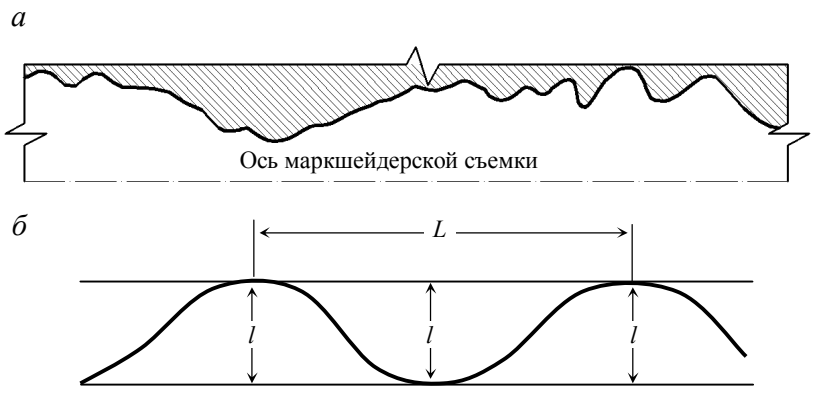


Рис.1. Схема определения параметров извилистости контакта: *а* – фактический контур борта на шахте «Комсомольская» рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»; *б* – схема расчета параметров

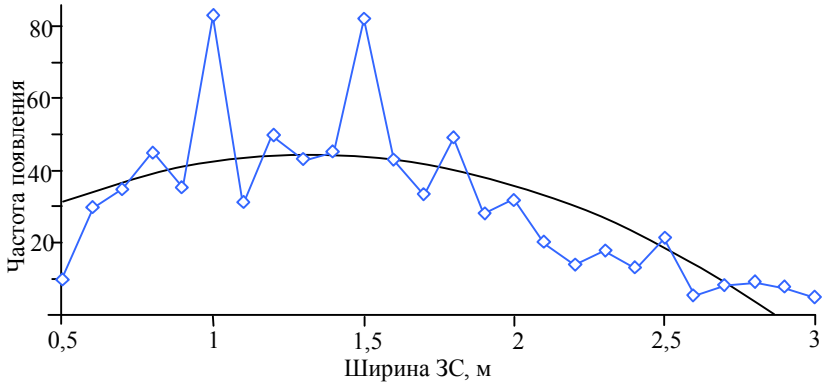


Рис.2. График распределения ЗС

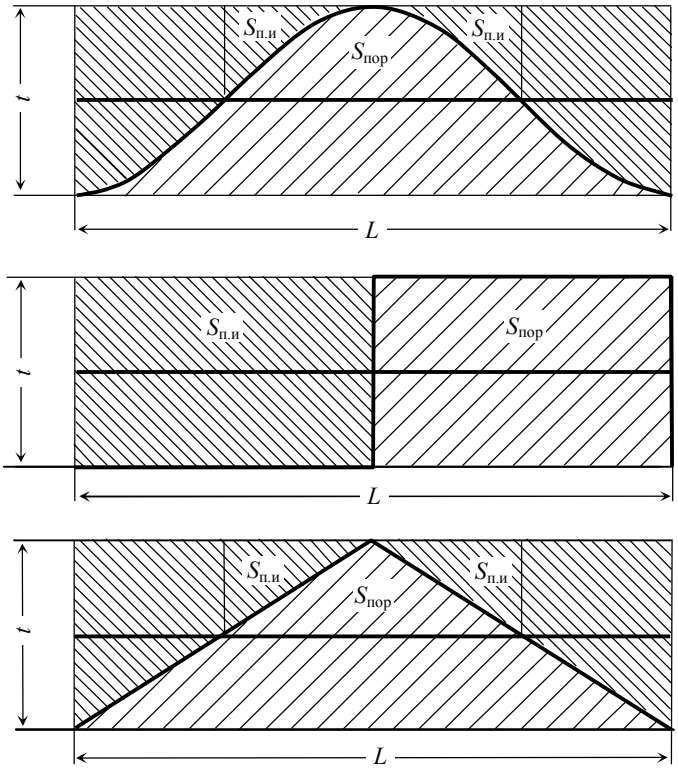


Рис.3. Схемы форм геологических контактов

В отличие от зоны контактной неопределенности, зона стохастичности – зона изменения (извивания) контакта – устанавливается, в основном, прямым методом по геологическим зарисовкам и надежность ее определения очень высокая.

Границы данной зоны ограничиваются линиями, проведенными касательно к «выступам» и «впадинам» контура рудного борта во вмещающий массив пород (рис.1). Геометрическими параметрами зоны являются ширина t и длина волны L.

Технологическая сложность отработки руды на контакте руда – порода определяется изменчивостью геометрических параметров зоны стохастичности по плоскости геологического контакта. В большей степени на сложность выемки руды на геологическом контакте влияет изменчивость ширины ЗС на отрабатываемом участке. На рис.2 приведены результаты замеров ЗС на одном из отработанных участков рудного тела шахты «Комсомольская» рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Как видно из графика (рис.2), значение ширины ЗС изменяется от 0,5 до 3,0 м и наиболее часто встречаются значения в диапазоне 1,0-2,0 м.

Точность определения пространственного положения геологического контакта и геометрических характеристик ЗС обеспечивают достоверность расчета нормативных уровней потерь и разубоживания руды. Немаловажное значение при расчете нормативных уровней потерь и разубоживания руды имеет установление зависимости изменения контакта внутри ЗС – математической модели контакта.

Ранее проведенными исследованиями [5-7] определено, что соотношение руды и породы внутри ЗС надежно характеризуется при условии 50:50. Такое соотношение характерно для контактов с прямоугольной, синусоидальной и пилообразной формой (рис.3).

Авторами предложена методика определения формы контакта, а также установлено влияние формы контакта на уровни потерь и разубоживания руды.

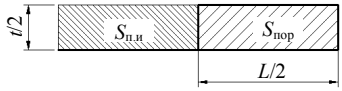
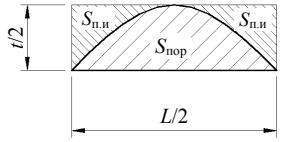
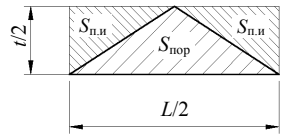
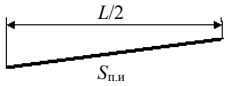
Индекс формы контакта рассчитывается по зависимости и характеризует определенную форму контакта:

$$i = \frac{S_{\text{п.и}}}{0{,}25(tL)}, \quad (1)$$

где $S_{\text{п.и}}$ – площадь участка руды, внедряемого в породный массив на участке, ограниченном зоной стохастичности, м^2 (табл.1).

Таблица 1

Характеристики форм геологического контакта внутри ЗС

Форма контакта	Вид контакта	Значение индекса формы контакта *i*
Прямоугольная		1,0
Синусоидальная		0,63
Пилообразная		0,5
Прямая (линейная)		0

Исходные параметры для расчета индекса формы контакта внутри ЗС могут быть приняты по данным геологической службы предприятия.

Прямая (линейная) форма геологического контакта характерна для месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения, что типично для месторождений строительного сырья.

Прямоугольная форма геологического контакта (или приближенная к ней) на реальных геологических контактах не была зафиксирована.

Как было указано выше, осуществление отработки рудного тела по внешней границе ЗС исключает потери руды в массиве, но максимально увеличивает подработку вмещающих пород. Отработка рудного тела по внутренней границе ЗС характеризуется максимальным объемом потерь руды и отсутствием подработки вмещающих пород.

Таким образом, при ведении добычных работ на геологических контактах руда – порода проявляется экономическая взаимосвязь между уровнем потерь руды в массиве и величиной подработки вмещающих пород, когда снижение потерь руды влечет за собой увеличение уровня разубоживания руды и наоборот – снижение экономического ущерба от подработки пород ведет к увеличению ущерба от потерь руды.

В данном случае расчет сводится к определению контура отработки внутри ЗС, обеспечивающего максимальную экономическую эффективность добычных работ, а показатели потерь и разубоживания по этому контуру принимаются как нормативные.

Для рудных месторождений критерием оценки экономической эффективности полноты и качества извлечения является максимум прибыли с 1 т погашаемых балансовых запасов выемочной единицы [14]:

$$\text{Пр} = \text{Ц}_\text{б}\text{К}_\text{н}\text{И}_\text{с} - (\text{С}_\text{тов}\text{К}_\text{н})/\text{К}_\text{к} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где Пр – средневзвешенная величина прибыли с 1 т погашенных балансовых запасов полезного ископаемого, руб.; $\text{Ц}_\text{б}$ – средневзвешенная ценность полезных компонентов в 1 т погашенных

DOI: *10.18454/PMI.2017.1.37*

балансовых запасов, руб.; $К_н$, $К_к$ – коэффициенты извлечения из недр и изменения качества полезного ископаемого; $И_с$ – сквозной коэффициент извлечения полезных компонентов при переработке руды; $С_{тов}$ – полная себестоимость добычи, транспортировки и переработки 1 т товарной руды, руб.

Отношение величин потерь и разубоживания на оптимальном контуре отработки, выраженные через площади теряемой руды в массиве $S_п$ и прирезаемых пород $S_в$, соответствует величине коэффициента μ_s, определяющего взаимосвязь основных технико-экономических и горно-геологических параметров, существенно влияющих на уровни потерь и разубоживания руды [2, 3, 8]:

$$\sqrt{\frac{S_{пот}}{S_{раз}}} = \mu_s , \tag{3}$$

$$\mu_s = \frac{С_{тов} - Ц_{вм} И_с}{Ц_б И_с - С_{тов}} \frac{\gamma_п}{\gamma_р} , \tag{4}$$

где μ_s – коэффициент, определяющий отношение величин площадей теряемой руды в массиве и прирезаемых пород на оптимальном контуре при выполнении условий (1); $Ц_{вм}$ – валовая ценность 1 т разубоживающей массы, руб.; $\gamma_п$ – плотность пород в массиве, т/м^3; $\gamma_р$ – плотность балансовой руды в массиве, т/м^3; $S_{пот}$ – площадь теряемой руды в массиве на оптимальном контуре отработки, м^2; $S_{раз}$ – площадь прирезаемых пород на оптимальном контуре отработки, м^2.

Использование данного коэффициента упрощает расчет нормативных величин потерь и разубоживания руды, формирующихся при отработке руды на геологическом контакте.

Нормативы потерь и разубоживания руды для пилообразной формы геологического контакта определяются по схеме рис.4, *а*.

Площадь поперечного сечения потерь в ЗС (в квадратных метрах) пилообразной формы

$$S_{пот} = \frac{2L\mu_s^2 t}{(2\mu_s + 2)^2} , \tag{5}$$

Площадь поперечного сечения прихватываемых пород в ЗС пилообразной формы

$$S = \frac{2Lt}{(2\mu_s + 2)^2} . \tag{6}$$

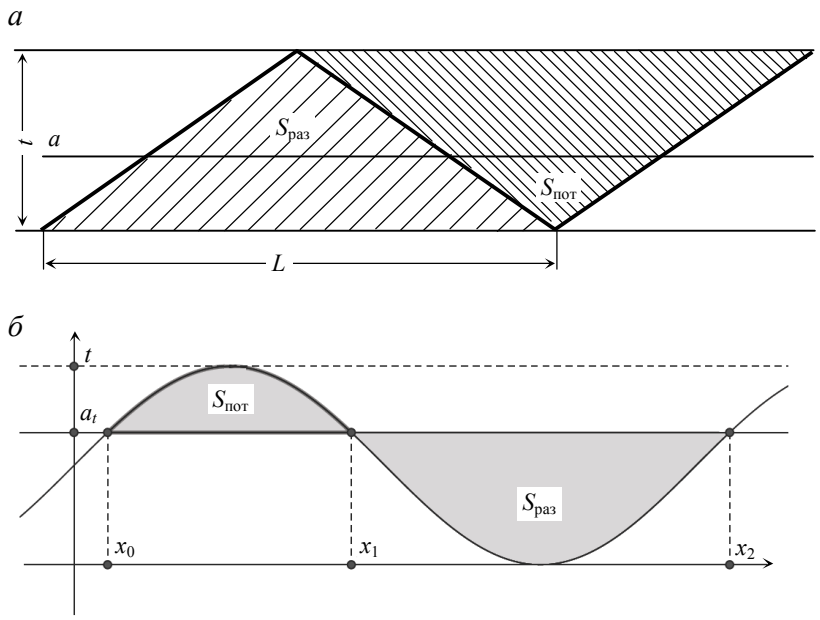


Рис. 4. Расчетная схема для пилообразной формы зоны контактной неопределенности (*а*) и синусоидальной (*б*) формы контакта

t – ширина ЗС; *a* – положение контакта

Для установления нормативов потерь и разубоживания руды для синусоидальной формы геологического контакта рассчитываются площади теряемой руды и подрезаемых пород на оптимальном контуре отработки, учитывая, что решение состоит в нахождении оптимального положения отработки, задаваемого границей отработки *a* при известном значении μ_s (рис.4, *б*).

В данном случае

$$f(x) = \frac{t}{2} + \frac{t}{2}\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right), \tag{7}$$

где $f(x)$ принимает значения от 0 до *t*, период равен 2*L*.

Граница отработки *a* задается значением

DOI: *10.18454/PMI.2017.1.37*

$$f(x) = ax, 0 \le a \le 1. \tag{8}$$

По уравнению

$$a_t = \frac{t}{2} + \frac{t}{2}\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \tag{9}$$

найдем точки пересечения прямой $y = a_t$ и синусоиды $y = f(x)$ на промежутке $[0; 3L]$:

$$x_0 = \frac{L}{\pi}\arcsin(2a-1),\ x_1 = L - x,\ x_2 = 2L + x_0.$$

Поскольку

$$\cos\left(\frac{\pi x_0}{L}\right) = 2\sqrt{a(1-a)}, \tag{10}$$

площадь потерь полезного ископаемого $S_{пот}$ и площадь прихватываемых пород $S_{раз}$

$$S_{пот} = \int_{x_0}^{x_1}(f(x) - a_t)dx = \frac{tL}{2\pi}\left[(2a-1)(2\arcsin(2a-1) - \pi) + 4\sqrt{a(1-a)}\right], \tag{11}$$

$$S_{раз} = \int_{x_1}^{x_2}(a_t - f(x))dx = \frac{tL}{2\pi}\left[(2a-1)(2\arcsin(2a-1) - \pi) + 4\sqrt{a(1-a)}\right]. \tag{12}$$

Отношение площадей $S_{пот}/S_{раз}$ есть квадрат известной величины μ_s:

$$\mu_s^2 = \frac{(2a-1)(2\arcsin(2a-1) - \pi) + 4\sqrt{a(1-a)}}{(2a-1)(2\arcsin(2a-1) + \pi) + 4\sqrt{a(1-a)}}. \tag{13}$$

К сожалению, уравнение (7) не допускает аналитического решения в терминах элементарных функций, однако оно может быть решено численным методом. Алгоритм, обеспечивающий вычисление параметра a и площадей $S_{пот}$ и $S_{раз}$, был реализован в системе компьютерной алгебры Maple.

Результат численного решения уравнения (7) для различных значений μ_s следующий:

μ_s	1,0	0,5	0,33	0,25	0,2
a	0,5	0,6	0,67	0,71	0,74

Рассмотрим условный пример определения оптимального контура отработки по каждому из вариантов для единых условий. Условно примем исходные данные: $Ц_б$ = 300 руб./т, $И_с$ = 0,9, $С_{тов}$ = 100 руб./т, $Ц_{вм}$ = 0, $\gamma_р = \gamma_п$ = 1,0 т/м^3. Тогда μ_s = 0,588; Б – запасы руды в элементарном блоке размером $t \times L$, П –потери руды на контакте, Р – разубоживание породы на контакте.

Таблица 2

Определение оптимального контура отработки при синусоидальной и пилообразной формах контакта

Номер контура	Контур	Б, т	Р, т	П, т	$К_н$	$К_к$	n	p	$П_р$, руб./т
				Синусоидальная					
1	0	6,28	6,28	0,00	1,00	0,50	0,00	0,50	70,00
2	0,2	6,28	5,19	0,16	0,97	0,54	0,03	0,46	82,97
3	0,4	6,28	4,25	0,47	0,92	0,58	0,08	0,42	89,63
4	**0,6**	6,28	**3,41**	**0,89**	**0,86**	**0,61**	0,14	0,39	**91,53**
5	0,8	6,28	2,66	1,40	0,78	0,65	0,22	0,35	89,93
6	1	6,28	1,99	1,99	0,68	0,68	0,32	0,32	84,58
7	1,2	6,28	1,40	2,65	0,58	0,72	0,42	0,28	76,09

Окончание табл.2

Номер контура	Контур	Б, т	Р, т	П, т	$К_н$	$К_к$	*n*	*p*	$П_р$, руб./т
8	1,4	6,28	0,89	3,41	0,46	0,76	0,54	0,24	63,51
9	1,6	6,28	0,45	4,25	0,32	0,82	0,68	0,18	47,80
10	1,8	6,28	0,16	5,20	0,17	0,87	0,83	0,13	26,64
11	2	6,28	0,00	6,28	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
Пилообразная									
1	0	6,28	6,28	0,00	1,00	0,50	0,00	0,50	70,00
2	0,2	6,28	5,09	0,06	0,99	0,55	0,01	0,45	87,30
3	0,4	6,28	4,02	0,25	0,96	0,60	0,04	0,40	99,20
4	0,6	6,28	3,08	0,57	0,91	0,65	0,09	0,35	105,70
5	**0,8**	**6,28**	**2,26**	**1,00**	**0,84**	**0,70**	**0,16**	**0,30**	**106,80**
6	1	6,28	1,57	1,57	0,75	0,75	0,25	0,25	102,50
7	1,2	6,28	1,00	2,26	0,64	0,80	0,36	0,20	92,80
8	1,4	6,28	0,57	3,08	0,51	0,85	0,49	0,15	77,70
9	1,6	6,28	0,25	4,02	0,36	0,90	0,64	0,10	57,20
10	1,8	6,28	0,06	5,09	0,19	0,95	0,81	0,05	31,30
11	2	6,28	0,00	6,28	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00

Расчеты показывают, что при единых исходных данных наблюдаются расхождения в получаемых результатах при выборе той или иной расчетной модели (табл. 2, 3). Это говорит о том, что для установления нормативной величины потерь необходимо верно определить вид зоны, а следовательно, и расчетную модель. Это позволит наиболее точно определить величину нормативных потерь при отработке приконтактных зон.

Выводы

1. При производстве расчетов нормативных величин потерь и разубоживания на контактах необходимо в первую очередь установить геометрические параметры зоны стохастичности, а также форму геологического контакта.

2. Установить форму геологического контакта можно, используя индекс формы контакта.

3. Форма геологического контакта влияет на уровни нормативных потерь и разубоживания руды при отработке запасов в зоне стохастичности контакта.

4. Используя предлагаемую методику, можно наиболее просто и достоверно определить нормативные величины потерь ЗС при отработке приконтактных зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агошков М.И.* Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр / М.И.Агошков, В.И.Никифоров, Е.И.Панфилов. М.: Недра, 1974. 312 с.

2. *Вохмин С.А.* Методические основы нормирования показателей извлечения из недр при отработке рудных и нерудных месторождений подземным способом / С.А.Вохмин, Н.Х.Загиров, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин // Вестник МГТУ им. Г.И.Носова. 2010. № 1. С.10-15.

3. *Вохмин С.А.* Планирование показателей извлечения при подземной разработке месторождений полезных ископаемых / С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, В.Л.Ермолаев / ГАЦМиЗ. Красноярск, 2002. 160 с.

4. *Зиновьев А.А.* О регламентации процесса недропользования / А.А.Зиновьев, Е.С.Мелехин, М.В.Дудиков // Рациональное освоение недр. 2011. № 1. С.22-26

5. *Курчин Г.С.* К вопросу о нормировании потерь и разубоживания на контактах при подземной отработке месторождений // Маркшейдерский вестник. 2015. № 4. С.19-24.

6. *Мечиков О.С.* Метод управления потерями и разубоживанием руд при отработке сложноструктурных приконтактных зон // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 4. С. 229-233.

7. *Нуржумин Е.* Способы оценки геолого-геометрических зависимостей между параметрами выемочных участков по месторождению / Е.Нуржумин, А.Курманкожаев // Труды университета / Карагандинский технический университет. Караганда, 2010. № 1 (38). С.64-67.

8. Особенности нормирования потерь и разубоживания при отработке богатых руд второй южной линзы шахты «Маяк» рудника «Комсомольский» / Н.В.Подкуйко, С.А.Вохмин, Ю.П.Требуш, Г.С.Курчин, Е.С.Майоров // Маркшейдерский вестник. 2014. № 5. С.34-40 с.

9. *Панфилов Е.И.* О развитии методологии определения и оценки полноты и качества разработки месторождений твердых полезных ископаемых (основные положения) // Рациональное освоение недр. 2010. № 2. С.7-16.

10. *Подтуркин Ю.А.* Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых – основа рационального использования недр // Недропользование – XXI в. 2006. № 1. С.3-6.

11. *Пурэв Л.* Исследование потерь и разубоживания угля / Л.Пурэв, С.Цэдэндорж, Д.Сурмаажав // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 1. Монголия. 2008. С.201-214.

12. *Разоренов Ю.И.* Определение потерь и разубоживания при разработке месторождений полезных ископаемых / Ю.И.Разоренов, А.А.Белодедов, С.А.Шпаленюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 9. С.47-50.

13. *Руденко В.В.* Теоретические особенности оптимизации потерь и разубоживания многокомпонентных руд в приконтактной зоне / В.В.Руденко, Л.А.Дробышева // Там же. 2000. № 6. С.28-31.

14. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче / Госгортехнадзор. М., 1972. 224 с.

15. *Elbrond J.* Economic effect of ore loss and rock dilution // CIM Bulletin. March, 1994. Vol. 87. N 978. P.131-134.

16. *Ebrahimi A.* An attempt to standardize the estimation of dilution factor for open pit mining projects // World Mining Congress, Montreal 2013. Available at: http://www.cim.org/en/Publications-and-Technical-Resources/Publications/Proceedings/2013/8/23rd-World-Mining-Congress/WMCO-2013-08-716

17. *Hyongdoo J.* Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system / J.Hyongdoo, E.Topal, Yo.Kawamura // Journal Applied Soft Computing archive. July, 2015.Vol. 32. Iss. C. P.1-12

18. *Liimatainen J.* Economic optimization models for capacity and cut off determination. Mine planning and equipment selection, hennies // Ed. Ayres da Silva & Chaves. Balkema, Rotterdam. 1996. P.129-135.

19. *Pengenceran M.* Quantifying dilution for underground mine operations / M.Pengenceran, O.Tanah. Available at: http://joenaldoe.blogspot.ru/2011/10/mengukur-pengenceran-untuk-operasi.html

Авторы: **Г.С.Курчин**, *канд. техн. наук*, *доцент*, *KurchinGS@mail.ru* (*Институт горного дела*, *геологии и геотехнологии. Сибирский федеральный университет*, *Красноярск*, *Россия*), **С.А.Вохмин**, *канд. техн. наук*, *профессор*, *svokhmin@mail.ru* (*Институт горного дела*, *геологии и геотехнологии. Сибирский федеральный университет*, *Красноярск*, *Россия*), **А.А.Кытманов**, *д-р физ.-мат. наук*, *доцент*, *зав. кафедрой*, *aakytmanov@sfu-kras.ru* (*Институт космических и информационных технологий. Сибирский федеральный университет*, *Красноярск*, *Россия*).

Статья принята к публикации 19.05.2016.