

принимается рекомендация о величине времени воздействия T_j и давлении нагнетания P_{nj} , где j соответствует $\max(C_{Mi}) = C_{Mj}$.

Таким образом, на основании теоретических представлений о процессе пневмодинамического воздействия выведены практические рекомендации для ориентировочного определения параметров воздействия.

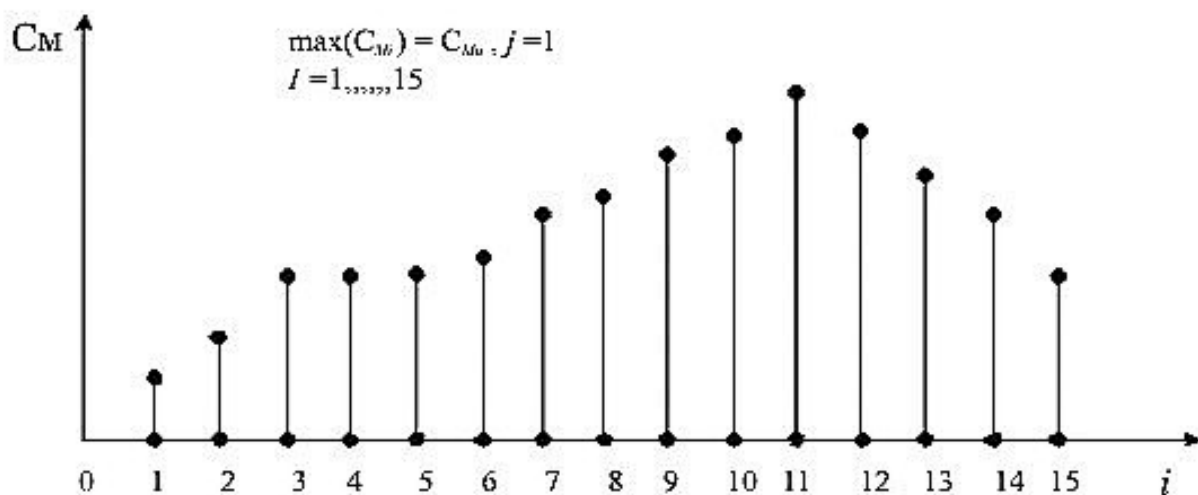


Рис. 3 – Результаты экспериментально-аналитических исследований

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлыш В.Н. Развитие теории и совершенствования технологии процессов воздействия на угольные пласты. / В.Н. Павлыш: - Донецк: РВА ДонНТУ, 2005.-347 с.
2. Софийский К.К. Задача управления процессом пневмодинамического воздействия на газонасыщенный породный массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько. / К.К. Софийский, В.В. Чередников, С.С. Серешников // Сб. научн. тр. «Международной научно – практической конференции (2-3 октября 2007 г.) «Геотехнологии и управление производством XXI века» - Донецк: 2007. – С.58-63.3
3. Павлыш В.Н. Математическое моделирование динамических процессов в системах с распределенными параметрами / В.Н. Павлыш, Ю.Н. Добровольский // Сб. научн. тр. ДонНТУ: «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем. – Донецк: ДонНТУ, 2002.- Вып. 52. – С.48-56.

УДК 622.341.1.002.612:622.013.364.2/.3

Е.В. Бабий, к.т.н.,

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД, ПОТЕРИ И РАЗУБОЖИВАНИЕ

Приведений анализ методів врахування втрат та зубожіння корисної копалини при видобутку залізних руд. Кваліметрична оцінка якості включає природну якість сировини, її залежність від параметрів системи розробки та технологічних процесів. Проаналізована рудна товща Криворізьких кар'єрів за наявністю та кількістю приконтатних зон. Наведена класифікація приконтатних зон: руда – породи. Запропонована технологія передзбагачення руди в кар'єрі як напрямок підвищення якості рудної маси.

QUALIMETRY ESTIMATION OF QUALITY OF ORE QUARRYING, LOSSES AND ORE DILUTION

Count losses methods and dilution in ore quarrying are analyzed. The qualimetry estimation of quality is providing the integrated assessment of mineral raw quality, the parameters of cut mines systems and the influence of technological processes. Ore capacity of quarries the Krivorož's deposit is analyzed in the availability and amount the contacts zones. The classification of the contacts zones "ore-rock" is shown. The ore preliminary concentration technology in quarry is shown as a direction of increase the ore mass quality.

Открытый способ добычи железных руд обеспечивает лучшие, чем при подземных работах, количественные и качественные показатели. Тем не менее, качественные показатели добычи полезных ископаемых имеют тенденцию к снижению. Это связано с тем, что в Кривбассе богатые месторождения практически исчерпаны, постоянно снижается качество исходного минерального сырья, сложные горно-геологические условия добычи.

Качество минерального сырья является одним из главных факторов, определяющих уровень технологических и экономических показателей потребляющих и перерабатывающих предприятий – обогатительных фабрик, металлургических заводов и т.д. Оно влияет на качество продукции перерабатывающих предприятий. Снижение качества добытой рудной массы ухудшает качество концентратов, окатышей, аглоруды, других продуктов горнообогатительных комбинатов. В тоже время снижение качества полезного ископаемого может не влиять на свойства конечной продукции, но при этом повышаются затраты в сфере перерабатывающих производств. Во всех случаях снижение качественных характеристик исходного минерального сырья отрицательно сказывается на показателях работы обогатительных фабрик. Это в первую очередь отображается на увеличении себестоимости конечной продукции. Чем выше качество концентрата (выше % содержание железа, меньше серы и других вредных компонентов), тем выше стоимость продукции комбината. Поэтому качеству уделяется первоочередная роль.

Качество конечной продукции определяется качеством работ наряду с качеством исходного минерального сырья

$$K_{\text{ПР}}=K_{\text{С}}*K_{\text{Р}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ПР}}$, $K_{\text{С}}$, $K_{\text{Р}}$ – соответственно качество продукции, сырья и работ.

Качество горных работ – это комплексное понятие, включающее в себя технический, технологический и организационный уровень горного производства и характеризующееся совокупностью технико-экономических показателей.

К числу технико-экономических показателей, по которым определяется качество горных работ, относятся:

- уровень разубоживания и потерь полезного ископаемого при добыче;
- степень стабилизации качества минерального сырья в грузопотоке;
- производительность горных работ и их экономическая эффективность;
- влияние вместимости ковша экскаватора на разубоживание.

Анализ технико-экономических показателей указывает, что основным компонентом, присутствующим в большей или меньшей степени в каждом из них, являются потери и разубоживание. Для всех горных предприятий обязательным является учет потерь и разубоживания руды для того, чтобы минимизировать потери полезного ископаемого и максимально использовать запасы рудного месторождения. Этому вопросу уделяется множество исследований, поэтому существует несколько методов учета потерь балансовых запасов и засорения рудного потока:

- прямые методы (производятся при помощи маркшейдерских съемок и замеров или с использованием фотограмметрической съемки);
- косвенные методы (основаны на сопоставлении количества руды в погашенных балансовых запасах выемочной единицы с количеством добытой из нее рудной массы);
- графо-аналитические методы (построение графика на основе результатов учета количества и качества добытой рудной массы, характеризующий процесс снижения качества руды при выпуске из рудоспуска);
- петрографический метод (используется при условии макроскопического различия руд и пород. Проба горной массы просеивается. Крупная фракция макроскопически сортируется на рудную и породную составляющие, взвешивают их);
- статистический метод (основан на определении уровня потерь и засорения руды по малой выборке и распространении его на весь объем добычи);
- квалиметрический метод (основан на изучении и разработке теоретических основ и методов количественной оценки качества полезного ископаемого).

Методы квалиметрии базируются на учете не только количественных, но и ценностно-качественных параметров, что позволяет находить более обоснованные решения важнейших задач производства [1]. Квалиметрическая оценка качества предусматривает комплексную оценку качества минерального сырья, параметров системы разработки и влияние технологических процессов.

Качество добычных работ характеризуется разубоживанием и полнотой выемки балансовых запасов. Качественную сторону добычных работ удобнее

оценивать коэффициентом качества добычных работ:

$$K_p = (1 - R) \varepsilon, \quad (2)$$

где R – разубоживание полезного ископаемого; ε – извлечение балансовых запасов полезного ископаемого из недр.

Добытое полезное ископаемое является продукцией горного производства. Как и любой другой вид продукции, оно характеризуется рядом своих свойств, имеющих важное значение для потребителей этого минерального сырья. Совокупность эксплуатационно-потребительских свойств полезного ископаемого составляет, в общем виде, его качество.

Качество минерального сырья (K_c) в зависимости от их функционального назначения, определяется по следующим признакам:

- химическому составу ($Fe_{общ}/Fe_{магн}$, сера, фосфор)
- минералогическому составу (мартит, гематит, бурый железняк, гетит, сидерит);
- физико-механическим свойствам (прочность, влажность, сильно и слабо магнитные минералы и не магнитные);
- структурным и текстурным особенностям строения полезного ископаемого (структура – граноблостовая, мозаичная, гранолепидобластовая; текстура – полосчатая, полосчатоуплощенная);
- прочим свойствам (гранулометрическому составу, бортовому содержанию).

Однако, между качеством полезного ископаемого в недрах (в балансовых запасах) и в добытом виде существует связь:

$$q_{доб} = q_n (1 - R) \varepsilon, \quad (3)$$

где $q_{доб}$ – качество добытого полезного ископаемого, q_n – качество полезного ископаемого в недрах, R – разубоживание при горных работах, ε – извлечение полезного ископаемого при добыче.

Наибольшее влияние на ухудшение качества полезного ископаемого в процессе горных работ оказывает степень насыщенности массива контактами между рудными телами и разубоживающими породами, т.е. количество, площадь и объем горных пород из приконтактных зон в очистном забое.

На эффективность экскавационных работ при селективной выемке полезного ископаемого оказывают влияние параметры системы разработки: высота уступа, направление перемещения фронта очистных работ по отношению простирания залежи, угол падения залежи и др.

При уменьшении высоты уступа происходит некоторое удорожание добычных работ за счёт снижения эксплуатационной производительности буровых станков, увеличения объёма бурения, уменьшения сетки скважин, увеличения затрат на транспортирование горной массы. Уменьшается угол откоса рабочего борта карьера, и увеличиваются текущие объёмы вскрышных работ.

Вместе с тем возрастает содержание полезного компонента в добытом полезном ископаемом, снижаются затраты на его переработку и повышается ценность конечного продукта горного предприятия. При уменьшении высоты добычного уступа с 15 до 5 м потери и разубоживание руды снижаются в 1,5 – 2,5 раза [2].

Анализ влияния направления перемещения фронта очистных работ по отношению к простиранию залежи показал, что минимизация потерь полезного ископаемого и разубоживания рудной массы происходит при отработке приконтактной зоны со стороны висячего бока залежи, т.е. в согласном направлении плоскости откоса уступа и простирания залежи (табл. 1). В этом случае объемы потерь и разубоживания уменьшаются в 2,5-3,0 раза.

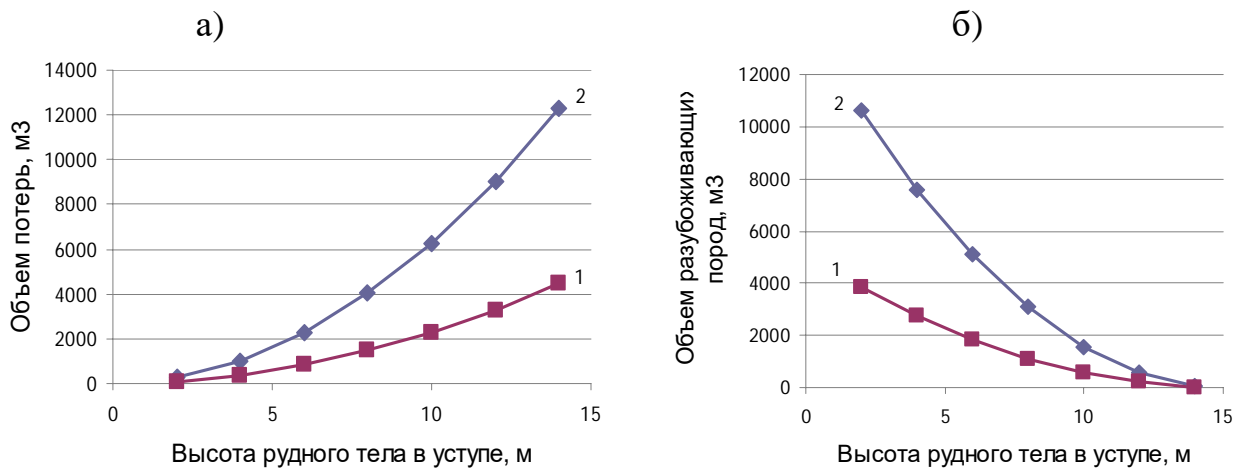
Таблица 1 – Результаты расчета объема потерь и разубоживания при согласном и несогласном направлении простирания залежи и откоса уступа

Высота рудного тела, м	Потери		Разубоживание	
	несогласное	согласное	несогласное	согласное
2	251,20	91,20	10613,20	3853,20
4	1004,80	364,80	7598,80	2758,80
6	2260,80	820,80	5086,80	1846,80
8	4019,20	1459,20	3077,20	1117,20
10	6280,00	2280,00	1570,00	570,00
12	9043,20	3283,20	565,20	205,20
14	12308,80	4468,80	62,80	22,80

При разработке горизонтальных и пологих залежей потери в их кровле и почве определяются средней мощностью зачищаемого или оставляемого слоя полезного ископаемого. Тогда как при разработке наклонных залежей разубоживание и возможность селективной выемки зависят главным образом от угла падения приконтактной зоны: чем круче расположена прослойка, тем меньший объем вовлекается в переработку и упрощается экскаваторная разборка. При отработке приконтактной зоны изменение объема потерь и разубоживающих пород зависит от мощности рудного тела в уступе и угла падения контакта (рис. 1).

На качество рудной массы при добычных работах влияют технологические процессы: буровзрывные работы, экскавация, транспорт.

При разработке месторождений взрывные работы – один из основных источников потерь и разубоживания полезного ископаемого, так как при взрыве происходит смещение подорванного массива и перемешивание рудных и пустых пород. Существует метод взрывания, основывающийся на энергетическом принципе управления энергией взрыва, при котором горная масса сохраняет геологическую структуру рудного массива [3].



1 – при согласном направлении падения залежи и линии откоса уступа; 2 – при несогласном

Рис. 1 – Зависимости объемов потерь железной руды (а) и пород разубоживания (б) при разработке приконтактных зон

По результатам маркшейдерской съемки деформирование взрываемого массива минимально при взрывании рассредоточенными зарядами с забойкой. Т.е. скважинный заряд разделяют на две части: 80% от общего заряда внизу скважины и 20% в забойке. Взрывание с сохранением геологической структуры рудных тел позволяет в среднем снизить коэффициент разрыхления на 15-20 %, потери полезного ископаемого – на 10-15 % и разубоживание – на 30 %.

Анализ существующих способов повышения качества руды в очистном забое [4] показал, что, несмотря на современные научно-технические разработки, на производстве самым распространенным способом остается селективная выемка полезного ископаемого. Однако, селективно разделять горную массу было удобнее в 1980 – 1990 гг., когда применялись экскаваторы с вместимостью ковшей 3 – 5 м³ и в отдельных случаях 8 м³ (при грузоподъемности автосамосвалов 45 – 75 т). В 2000-е года в забоях используются экскаваторы с вместимостью ковшей 8 – 12 м³ (в соответствии с увеличением грузоподъемности автосамосвалов до 110 – 120 т) и планируют применить экскаваторы с вместимостью 20 м³. Эта тенденция увеличения вместимости ковшей экскавационного оборудования приводит к повышенному разубоживанию рудной массы или большим потерям.

Транспортирование руды из очистного забоя и до обогатительной фабрики осуществляется в несколько этапов: сначала автомобильным транспортом до перегрузочного пункта, далее железнодорожным или конвейерным. В местах погрузки, разгрузки, складирования и сортировки горной массы происходит смешивание рудных сортов и безрудных пород, что отображается в эксплуатационных потерях качества рудного потока.

Качество рудной массы, которую экскавируют из очистного забоя, зависит от однородности взорванной горной массы, поэтому рудоносная толща Криворожского железорудного бассейна была проанализирована по перемежае-

мости слагающих ее горных пород.

Основной рудоносной толщей месторождения является Саксаганская свита, представленная ритмично чередующимися пластами железистых кварцитов и сланцев. Рудоносную толщу слагают первый, второй, третий, четвертый и пятый железистые и разделяющие их соответствующие сланцевые горизонты.

Сланцевые горизонты прослеживаются непрерывными полосами в восточном и западном крыльях складки и представлены кварц-биотитовыми, гранат-куммингтонитовыми и гранат-биотит-куммингтонитовыми сланцами с прослоями безрудных кварцитов. Мощность их колеблется от 5 – 10 до 20 – 40 м (в замковой части).

Контакты между рудными телами окисленных кварцитов пятого и четвертого железистых горизонтов нечеткие и разделение их условно. Преобладающая часть запасов окисленных железистых кварцитов приурочена к пятому железистому горизонту.

Анализируя геологические условия залежей железистых кварцитов, разрабатываемых открытым способом, можно выделить две основные группы железорудных месторождений.

Первая группа месторождений железистых кварцитов представлена в границах карьеров сильно сжатыми синклинальными складками, причем замковая часть синклинали также входит в контуры карьерного поля при глубине залегания ее не больше 300 м. По горизонтальной мощности рудного тела месторождения этой группы относятся к сверхмощным. Горизонтальная мощность залежи практически соответствует параметрам карьерного поля в плане. Перемежаемость железистых и сланцевых горизонтов прослеживается практически на всех рабочих горизонтах. Причем безрудные прослойки мощностью до 10 м согласно Инструкции [4] в полном объеме попадают в рудную горную массу. Представителями этой группы месторождений являются карьеры ИнГОКа, ЮГОКа и Первомайский карьер СевГОКа.

Вторая группа месторождений железистых кварцитов представлена мощными пластообразными залежами наклонного и крутого падения значительной протяженности. Приконтактные зоны большей частью представлены руда – скальная вскрыша. Представителями этой группы являются карьеры НКГОКа, ЦГОКа и Анновский карьер СевГОКа. Эта группа месторождений отличается значительными объемами скальных пустых пород при увеличении глубины разработки.

Учитывая горно-геологические особенности месторождений и технологические параметры экскаваторных забоев, приконтактные зоны в добычных уступах можно проклассифицировать по следующим признакам:

1) По отношению к груди добычного забоя:

а) перпендикулярно подвиганию забоя;

б) вдоль подвигания забоя;

- согласное направление падения приконтактной зоны и линии откоса уступа;

- несогласное направление падения приконтактной зоны и линии откоса уступа;

2) По типам руд, примыкающим к рудному телу в приконтактной зоне:

- окисленные кварциты;
- некондиционные руды;
- безрудные породы;
- вскрышные породы, содержащие магнетит.

3) По содержанию полезного компонента во взорванной горной массе приконтактной зоны:

- высокое содержание железа (окисленные железистые кварциты с процентным содержанием $Fe_{общ}$ до 36%);
- среднее содержание железа (некондиционные руды, где содержание общего железа меньше 14%);
- низкое содержание железа (случаи тонких рудных прослоев в безрудных породах);

4) В зависимости от формы геологической залежи:

- плоская ровная приконтактная зона;
- синклинальная или антиклинальная складки (выклинивание полезного ископаемого);
- круглая или вкрапленная приконтактная зона;

5) По сложности геологической структуры рудного тела в забое:

- один контакт между рудным телом и вмещающими породами;
- сложноструктурная залежь (перемежаемость рудных и безрудных пород в забое);

6) По углу падения контакта:

- горизонтальные;
- вертикальные;
- наклонные;
- крутонаклонные;

7) По отношению к визуальному обследованию приконтактной зоны:

- контакты с вмещающими породами, видимые невооруженным глазом;
- контакты, определяемые только с помощью специальных геологических магнитных приборов.

Добыча железных руд из приконтактных зон влияет на качество рудной массы подаваемой на обогатительную фабрику. Горные породы, примыкающие к полезному ископаемому, при экскавации попадают в горную массу и разубоживают ее, ухудшая качество. Поэтому при проектировании и на различных стадиях планирования горных работ определяют границу технической и экономической целесообразности снижения потерь в результате увеличения разубоживания и наоборот. Для этого путем технико-экономического сравнения вариантов применяемых комплексов оборудования, систем разработки и их параметров, способов взрывания и выемки, контуров добычных блоков определяют рациональные варианты. Однако при ведении очистных работ возникают потери и разубоживание и чтобы рацио-

нально и экономно подойти к добываемым запасам необходимо переходить на безотходные технологии или хотя бы минимизировать отходы производства.

Повышение качества рудного сырья можно достичь при технологии предварительного обогащения руды в карьере, которая позволяет повысить качество руды и уменьшить объем вскрышных работ путем включения в переработку некондиционных руд, разубоженных руд и пород вскрыши, содержащих магнетит [4,6]. Сущность этой технологии заключается в том, что предобогащение руды осуществляют в карьере, а отходы предобогащения размещают в выработанном пространстве или складировать совместно со вскрышными породами. Эта технология горных работ отличается от известных тем, что в карьере производят дополнительные технологические процессы: среднее дробление (при необходимости [7]) и сухую магнитную сепарацию. Применение сухой магнитной сепарации при переработке неокисленных железистых кварцитов позволяет увеличить производство концентрата на 12-17 %, снизив расход руды на 1 т концентрата с 2,628 до 2,473 [8].

Возможны различные технологические схемы и комплексы применения технологии предобогащения руды в карьерах [6]. Для предобогащения магнетитовых руд предусматривается использовать существующие в карьере корпуса крупного дробления или вновь строящиеся при понижении горных работ. Технологические схемы могут быть различными в зависимости от следующих условий:

- тип применяемого оборудования (стационарные или мобильные агрегаты);
- место расположения оборудования (в забое, на борту карьера или в непосредственной близости от карьера);
- транспорт и передаточные конвейера (пологие, наклонные и крутонаклонные конвейера);
- наличие потенциального места для расположения оборудования (на одном уступе, поуступное расположение);
- размещение отходов (внутреннее или внешнее отвалообразование).

Выводы.

Таким образом, потери и разубоживание руды, наличие некондиционных руд, эксплуатация на карьерах оборудования большой единичной мощности, а также наличие многих разновидностей сортов руд вызывает необходимость применения технологии предобогащения сырья непосредственно в карьерах. Этому способствует применение циклично-поточной технологии, включающей крупное механическое дробление, и создание электромагнитных сепараторов для предобогащения слабомагнитных и магнитных крупнокусковых руд.

Квалиметрическая оценка качества предусматривает комплексную оценку:

- а) качества исходного минерального сырья, залегающего в недрах по его мощности, содержанию полезных и вредных компонентов, вкрапленности рудных зерен, обогатимости и возможности повышения его качества при

применении сухой магнитной сепарации;

б) параметров системы разработки во взаимосвязи с простиранием и глубиной залегания рудной залежи;

в) влияния технологических процессов: взрывание, экскавация, транспорт, предварительное обогащение. При этом учитываются требования потребителей к качеству концентрата.

Железорудные месторождения Кривбасса, прежде всего неокисленные железистые кварциты, добычу и переработку которых осуществляют весьма существенно, отличаются по структуре, текстуре, вкрапленности минеральных зерен, содержанию вредных и полезных компонентов. Это требует для каждого месторождения учитывать его специфику и производить квалитетную оценку для обоснования формирования технологических комплексов по предобогащению руды в карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломоносов, Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче [Текст] - М., «Недра», 1975. – 224 с.
2. Новожилов, М.Г. Горногеометрический анализ и режим горных работ карьеров [Текст] / М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, М.С. Четверик. – Киев: Наукова думка, 1971. – 144 с.
3. Мосинец, В.Н. Технология взрывания рудных уступов с сохранением геологической структуры [Текст] / В.Н. Мосинец, С.К. Рубцов // Горный журнал. - 2001. - № 12. – С. 33-38.
4. Бабий, Е.В. О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере [Текст] / Е.В. Бабий, М.А. Синенко // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць.- Кривий Ріг: - 2010.- № 25.- С. 19-24.
5. Отраслевая инструкция по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях Министерства черной металлургии СССР [Текст] / ВИОГЕМ. - Белгород, 1975. – 68 с.
6. Четверик, М.С. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд [Текст] / М.С. Четверик, Е.В. Бабий // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2007».- Дніпропетровськ. Національний гірничий університет. - 2007. - С. 246-253.
7. Бабий, К.В. Технологія передзбагачення руди в кар'єрі як напрямок зниження негативного впливу на навколишнє середовище [Текст] // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції.- Кривий Ріг: ДП «НДГРІ», 2010.- С. 97-98.
8. Кретов, С.И. Совершенствование технологии переработки руд Михайловского месторождения [Текст] / С.Л. Губин, С.А. Потапов // Горный журнал, 2006. - № 7. – С. 71-75.

УДК [622.002.68:502.53].001.33

Е.А. Бубнова, к.т.н.