Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVI, вып. 1, 1958 г.

О МЕТОДИКЕ УСТАНОВЛЕНИЯ НОРМАТИВОВ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВКРАПЛЕННЫХ РУД

П. И. ГОРОДЕЦКИЙ, Н. З. ГАЛАЕВ

Экономическое значение качественных и количественных потерь полезного ископаемого при разработке общеизвестно, а поэтому важность вопроса их регулирования очевидна.

Хотя потери и разубоживание полезного ископаемого при разработке неизбежны, их размер может быть различным, причем возможность (и степень технической сложности) снижения зависит, с одной стороны, от естественных условий, а с другой — от системы разработки, качества выполнения горных работ и качества их контроля и учета.

Известно значительное число исследований и статей в технической литературе, посвященных вопросам потерь и разубоживания руды, но еще мало работ, относящихся к определению нормативов, т. е. такого уровня потерь и разубоживания руды, который мог бы считаться допустимым и технически оправданным в данный период времени для данных горнотехнических условий и применяемой системы разработки (конечно, при правильном ведении работ). Там, где такие нормативы установлены, они основаны обычно на длительном практическом опыте. Однако опыт не всегда имеется, а практика не всегда дает достаточно объективные и технически обоснованные показатели. Поэтому, не исключая указанного выше пути, представляет интерес установление нормативов потерь и разубоживания руды путем расчета.

Следует заметить, что неизбежная условность подсчитанных запасов и качества руды в недрах определяет в известной мере неточность и условность оценки размеров качественных и количественных потерь руды как на основании опыта, так и расчетным путем. С этим обстоятельством, хотя и приходится мириться, но необходимо отдавать отчет о том, что возможная точность наших величин зависит от разведанности месторождения, его сложности и точности подсчета запасов. При решении данной задачи технический расчет должен обязательно кооперироваться также с анализом практических данных производства, а в необходимых случаях — и с выполнением специальных опытов и исследований.

Известно, что потери руды при разработке происходят за счет потерь руды в массиве, т. е. потерь вследствие оставления целиков, из-за неточного следования границам рудного тела в выклинках и апофизах и за счет потерь отбитой руды, происходящих от разброса при отбойке и доставке руды, выпуске ее из очистного пространства и др.

Разубоживание руды при добыче в свою очередь зависит от примешивания породных прослойков или вмещающих пород (содержащих или не содержащих полезные компоненты), от потери обогащенной рудной мелочи, потерь в целиках руды с повышенным против среднего качеством. Значение каждого из этих источников потерь и разубоживания руды может быть различным в конкретных случаях — в зависимости от горногеологических условий и применяемой системы разработки.

В данной статье рассматривается методика установления нормативов потерь и разубоживания руды на примере разработки одного из мощных пологопадающих месторождений вкрапленных руд системой с массовым обрушением и выпуском руды. В этом примере границы рудного тела устанавливаются только на основании опробования (руководствуясь принятым нижним пределом промышленного содержания

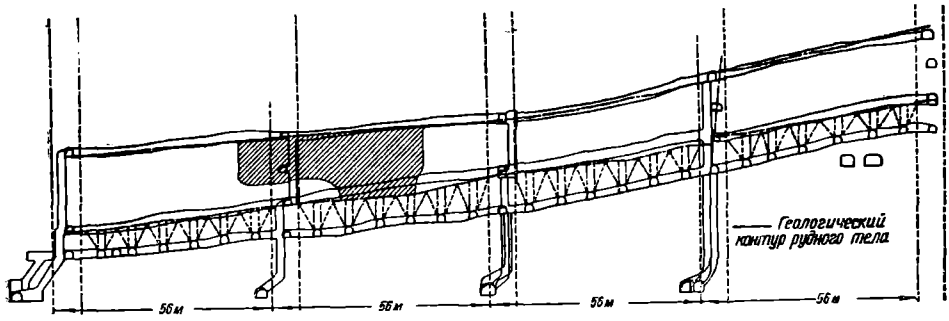


Рис. 1. Пример разреза по рудному телу. Геологический контур промышленных запасов рудного тела показан пунктиром

основного полезного компонента) и имеют довольно изменчивые очертания (рис. 1). Мощность (вертикальная) рудного тела колеблется от 10 до 30 *м*.

Разработка ведется блоками размерами в плане 42 × 56 *м*, 35 × × 56 *м* и 60 × 112 *м*. В дальнейшем будут преобладать блоки 60 × 112 *м* (рис. 2) с четырьмя компенсационными камерами, поэтому на них и будем ориентироваться. Выработки для выпуска руды проходятся, как правило, в подстилающих породах, но так как нижняя подсечка блока не может в данных горногеологических условиях точно следовать условной нижней границе рудного тела, то часть выпускных воронок нередко оказывается в пределах промышленного контура рудного тела и, напротив, часть пород ниже этого контура легко можеть попасть в пределы блока и при выемке смешаться с рудой. Оконтуривающие очистной блок выработки, следующие верхней границе условного рудного тела, также могут отклоняться от этой границы в обе стороны.

По условиям применяемой системы разработка блока ведется в две стадии: в первую очередь производится выемка камер, во вторую — массовое обрушение целиков. На первую стадию (прибавляя сюда и руду от подсечки блока и нарезных работ) приходится около 40% запаса руды в блоке, на вторую — 60%.

В условиях нашей задачи основными причинами количественных потерь руды при разработке следует считать: 1) отклонения при производстве горных работ от промышленного (геологического) контура рудного тела (построенного на основании разведочных данных и принятого при подсчете запасов); 2) потери отбитой руды при выпуске.

По понятным причинам предусматривается правильное применение системы разработки, поэтому потери руды вследствие неправильного

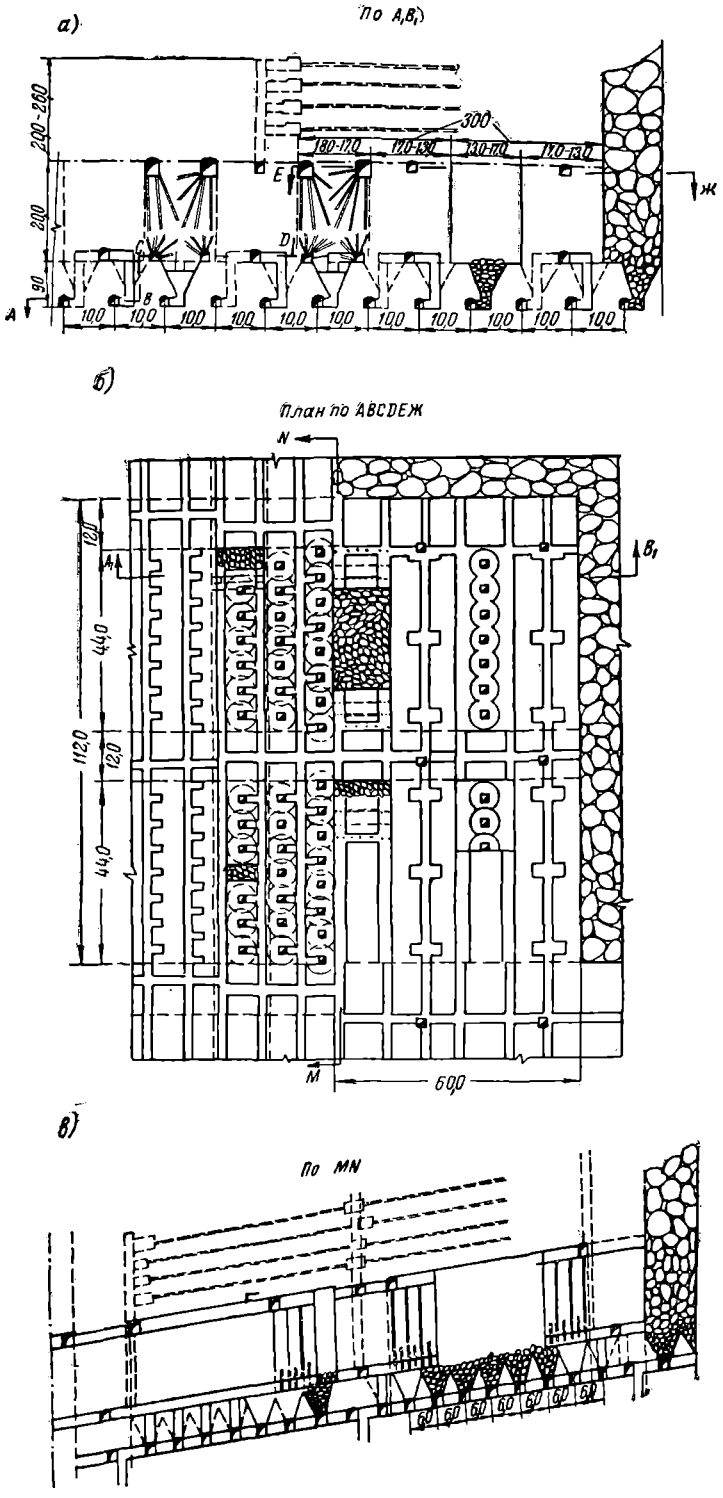


Рис. 2. Система разработки:

а — вертикальный разрез по длине блока; *б* — план; *в* — вертикальный разрез по падению

ведения горных работ или недостатков технического контроля и учета не рассматриваются. Не говоря уже о том, что их величину заранее нельзя предвидеть, надо стремиться к исключению таких потерь, как не связанных ни со свойствами системы разработки, ни с геологическими условиями.

Разубоживание руды в условиях нашей задачи будет происходить главным образом, за счет прирезки породы (или убогой забалансовой руды) при отклонениях от промышленного (геологического) контура рудного тела, а также при выпуске руды из блока.

Потери и разубоживание руды за счет отклонений от контура рудного тела

Методами установления потерь (количественных) руды и ее разубоживания, происходящих от отклонений при производстве горных работ от промышленного контура рудного тела, могут быть: а) непосредственный геометрический анализ маркшейдерско-геологических материалов; б) подсчет по получаемым на основании опробования содержаниям полезного компонента в руде (в массиве), вмещающих породах и добытой рудной массе.

Второй метод практически трудно осуществим, поэтому в нашем примере был применен только первый. При этом принималось, что неточность следования промышленному контуру рудного тела определяет не относительные, а абсолютные линейные величины отклонений, т. е. последние считались не зависящими от мощности рудного тела; иначе говоря, потери и разубоживание руды за счет этой причины должны находиться в обратной зависимости от мощности рудного тела.

Подсчет величин потерь и разубоживания руды от неточного следования при горных работах контуру рудного тела сводится к следующему.

1. Для осуществления данного метода необходимо иметь некоторый опыт нарезных и очистных работ и маркшейдерско-геологические материалы в виде разрезов, позволяющие на основании частных отклонений вывести приблизительные значения средних. Если рассуждать теоретически, то точные значения средних отклонений могут быть получены на основании очень большого числа частных. Однако точных значений средних по условиям данной задачи получить или нельзя, или нужно откладывать на долгий срок установление норм потерь руды, что нецелесообразно.

2. На маркшейдерско-геологических разрезах измеряются (палеткой или другим способом) прирезанные и потерянные площади — отдельно для верхнего и нижнего контактов.

3. Делением этих площадей на соответствующие длины участков разреза находятся линейные величины положительных и отрицательных отклонений.

4. Эти данные сводятся в таблицы, по которым определяются средние (арифметические или квадратичные) величины положительных и отрицательных отклонений.

5. На основании этих данных, а также учитывая практический опыт работ и организационные условия (скорость проходки выработок, расстояния между пробами или промежутки времени между взятием проб, необходимые сроки для оценки результатов опробования и геологического осмотра для передачи указания о направлении выработок и т. д.), принимаются окончательные значения допустимых норм линейных отклонений выработок от геологического контура рудного тела.

6. Путем деления этих окончательно принятых значений на переменную величину вертикальной мощности рудного тела можно получить ожидаемые значения потерь и разубоживания руды за счет отклонений от промышленного (геологического) контура, как функцию мощности рудного тела.

Заметим, что определяемое указанным выше путем ожидаемое разубоживание руды будет отражаться на среднем качестве отбитой руды (рудной массы) в зависимости от содержания полезного компонента в разубоживающих руду породах.

Как известно [2, 5], действительное разубоживание руды за счет боковых пород [1]

$$r = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha - \alpha''} 100\%,$$

где α, α', α'' — соответственно содержание полезного компонента в геологическом запасе блока, его содержание в добытой руде (рудной массе) и разубоживающих породах.

Отсюда, зная действительное разубоживание, можно определить ожидаемое содержание полезного компонента в добытом материале

$$\alpha' = \alpha - \frac{r}{100}(\alpha - \alpha''). \qquad (1)$$

В нашем случае разубоживание возможно со стороны верхней и нижней границ рудного тела, причем в общем случае содержание полезного компонента может быть различным. В таких условиях для определения содержания полезного компонента в добытой руде нужно знать величину разубоживания и содержание полезного компонента в боковых породах отдельно для висячего и лежачего боков, на основании чего определится общая величина разубоживания [2]

$$r_{общ} = r_в + r_л \qquad (2)$$

и среднее содержание полезного компонента в разубоживающих породах

$$\alpha''_{ср} = \frac{\alpha_в'' r_в + \alpha_л'' r_л}{r_в + r_л} \qquad (3)$$

Полученные значения $r_{общ}$ и $\alpha''_{ср}$ следует подставлять в формулу (1).

Потери и разубоживание руды при выпуске

Как известно, потери и разубоживание отбитой руды при выпуске из пределов блока зависят от: 1) организации и правильности проведения выпуска; 2) физических свойств руды и пород; 3) размеров конструктивных элементов блока; 4) конструкции выпускных выработок; 5) высоты подлежащего выпуску слоя руды.

Определять величины потерь и разубоживания руды при выпуске можно следующими путями: 1) на основании статистического обобщения производственной практики; 2) экспериментальным исследованием в производственных условиях; 3) путем предрасчета на основании теоретических соображений и лабораторных опытов на моделях.

Первый путь требует наличия большого, а главное надежного качества материала, чем далеко не всегда можно располагать. Второй путь

[1] Буквенные обозначения приняты у разных авторов различные. Здесь они взяты по книге П. И. Городецкого [2].

[2] Значки «*в*» и «*л*» при соответствующих величинах показывают отношение последних к висячему или лежачему бокам.

связан с затратой времени и дороговизной работ, хотя может дать весьма надежные результаты. Третий путь обеспечивает более быстрый, но приближенный ответ. В нашем случае первый и второй пути применить нельзя, поэтому выбран третий путь, но это, конечно, не исключает постановки в дальнейшем наблюдений и экспериментальных исследований в производственных условиях, в результате которых нормативы, полученные предрасчетом, могли бы быть уточнены.

Методика лабораторных исследований выпуска руды на моделях за последнее время довольно хорошо разработана и проверена для ряда крупных рудников (Криворожского бассейна, апатитового рудника им. С. М. Кирова, Текелийского рудника и др.). Значительно продвинулась вперед также и теория выпуска руды, которая, несмотря на наличие спорных положений и различие взглядов по отдельным вопросам, уже может быть практически применена в расчетах. Очень кратко остановимся на основных особенностях движения руды при выпуске и установленных при этом закономерностях.

Отдельные куски отбитой руды, которую можно рассматривать как сыпучее тело, при выпуске приходят в движение, стремясь продвинуться к выпускному отверстию. По мере выпуска в движение приходят все большие массы руды. При этом, как показывают многочисленные опыты на моделях, движение массы характеризуется тем, что частицы, приходящие к выпускному отверстию (в тот или иной момент) приблизительно одновременно, первоначально были расположены по определенной поверхности. Эта поверхность, или первоначальное геометрическое место частиц, приходящих к отверстию одновременно, называют фигурой выпуска.

По мере выпуска из отверстия (вследствие разрыхления) все большие массы вовлекаются в движение. Геометрическое место частиц, движение которых начинается одновременно, называется фигурой зоны разрыхления или просто фигурой разрыхления. Фигура выпуска и фигура разрыхления подобны.

На основании изучения на моделях движения руды при выпуске было выдвинуто С. И. Минаевым [4], а затем развито и подробно обосновано Г. М. Малаховым представление о фигуре выпуска, как об эллипсоиде вращения [3]. Некоторые исследователи выдвигают другие представления о фигуре выпуска, но без достаточно убедительных обоснований. Этот спорный вопрос может быть окончательно разрешен, очевидно, только на основании более полного выяснения физики процесса и развития теории движения руды при выпуске.

Здесь принимается представление о фигуре выпуска, как об эллипсоиде вращения, что дает возможность воспользоваться формулами Г. М. Малахова [3]. Для облегчения расчетов эти формулы можно несколько упростить без существенного влияния на точность результатов.

С учетом сказанного объем руды, выпускаемой из одиночного отверстия (воронки), можно считать равным объему эллипсоида вращения

$$V = \frac{\pi}{6} h^3 (1 - \varepsilon^2), \qquad (4)$$

где h — высота эллипсоида выпуска;

ε — эксцентриситет эллипсоида,

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a},$$

где a и b — большая и малая полуоси эллипсоида.

Когда высота эллипсоида h становится равной высоте слоя руды, начинается разубоживание.

Из формулы (4) видно, что при постоянной величине h объем эллипсоида выпуска зависит от его эксцентриситета. Последний, в свою очередь, зависит от физико-механических свойств выпускаемой руды (кусковатости, наличия глинистых и пылеватых частиц, цементирующих руду, влажности руды и др.), размеров и конструкции выпускных выработок. Как показывают опыты, в том числе проведенные в лаборатории Ленинградского горного института, величина эксцентриситета для крупнокусковатых руд при прочих равных условиях уменьшается. Пылеватые и глинистые частицы способствуют (в определенных пределах влажности) увеличению эксцентриситета эллипсоида выпуска, т. е. эллипсоид становится более вытянутым. Это доказывается как опытами на моделях, так и практикой отечественных и иностранных рудников.

Г. М. Малахов доказал, что эксцентриситет при увеличении отношения высоты эллипсоида выпуска к диаметру выпускного отверстия $\frac{h}{d}$ сначала возрастает, а потом остается почти постоянным. Для условий Кривого Рога (мелкая руда, часто слеживающаяся) эксцентриситет заметно возрастает при изменении отношения $\frac{h}{d}$ от 4,5 до 8,0, а затем рост эксцентриситета замедляется и при $\frac{h}{d} > 8$—10 практически прекращается.

Для крупнокусковой руды и для руд, не имеющих пылеватых и глинистых частиц, влияние выпускного отверстия будет сказываться в более широких пределах. Основываясь на практических данных и на проводившихся ранее авторами статьи лабораторных исследованиях влияния крупности руды на ее выпуск, можно установить следующие примерные пределы эксцентриситета для крупнокусковых руд (при диаметре выпускного отверстия 1,5—2,0 *м*):

$\frac{h}{d}$	5,00;	7,00;	11,00;	15,00
ε	0,84;	0,86;	0,92;	0,93.

При выпуске руды не из одиночной, а из группы смежных воронок картина изменяется. Если расстояние между выпускными отверстиями настолько велико, что эллипсоиды выпуска смежных воронок не пересекаются — выпуск будет обособленным, как и из отдельных воронок. Это приводит к повышенным потерям руды, поэтому практически стараются выбирать расстояние между выпускными воронками таким, чтобы при данной высоте рудного слоя они могли взаимодействовать. В этом случае эллипсоиды пересекаются, а зона влияния выпускной воронки определяется уже не объемом эллипсоида, а объемом столба руды (призмы), приходящимся на одно выпускное отверстие.

При равномерном выпуске руды из ряда взаимно влияющих отверстий поверхность контакта руды с обрушенными породами (при опускании до известного предела) может приближаться к плоскости (горизонтальной или наклонной), а в конце выпуска каждое отверстие начинает действовать независимо. В результате между выпускными воронками образуются «мертвые зоны» в виде гребней, и оставшаяся в них руда будет потеряна. Высота, ниже которой плоская поверхность контакта не может быть сохранена даже при равномерном выпуске, называется «критической». Она соответствует моменту касания эллипсоидов выпуска смежных воронок и, как доказано Г. М. Малаховым, не зави-

сит от первоначальной высоты слоя руды. Следовательно, абсолютная величина потерь руды в гребнях между воронками не зависит от первоначальной высоты слоя руды.

«Критическая высота» определяется в каждом конкретном случае формой эллипсоида выпуска, т. е. физико-механическими свойствами руды, расстоянием между выпускными воронками и углом их откоса. Поскольку при опускании поверхности контакта руды с породами до «критической» высоты руда движется сплошной массой, то при соблюдении правильного режима выпуска руда в этот период извлекается практически полностью и без разубоживания. Потери и разубоживание начинают сказываться после того как высота слоя руды достигнет «критической».

При выпуске из группы взаимодействующих воронок объем руды, приходящийся на одну выпускную воронку

$$V_{\text{общ}} = hF, \tag{5}$$

где h — первоначальная высота слоя руды;

F — площадь блока на одну воронку.

При этом после достижения «критической» высоты может быть выпущена без разубоживания руда только в объеме эллипсоида выпуска высотой $h_{\text{крит}}$, т. е.

$$V_{\text{крит}} = \frac{\pi}{6} h^3_{\text{крит}} (1 - \varepsilon^2) = 0{,}524 h^3_{\text{крит}} (1 - \varepsilon^2). \tag{6}$$

Тогда весь запас неразубоженной («чистой») руды, который может быть извлечен из одной выпускной воронки

$$V_{\text{ч. р}} = (h - h_{\text{крит}}) F + 0{,}524 h^3_{\text{крит}} (1 - \varepsilon^2). \tag{7}$$

Эта формула применима для случаев, когда $h > h_{\text{крит}}$. Если же $h < h_{\text{крит}}$, то

$$V_{\text{ч. р}} = 0{,}524 h^3 (1 - \varepsilon^2). \tag{8}$$

Извлечение чистой руды при выпуске

$$U_{\text{ч. р}} = \frac{V_{\text{ч. р}}}{V_{\text{общ}}} 100\%. \tag{9}$$

Как следует из формул (5) и (7), в случае, если первоначальная высота слоя руды равна критической (т. е. при касании эллипсоидов их вертикальная ось равна высоте слоя руды, горизонтальные оси равны расстояниям между осями смежных воронок), извлечение неразубоженной руды теоретически составит около 52%.

Как показали исследования [1], эта величина практически может быть несколько увеличена для кусковатых руд за счет выбора оптимального угла откоса воронок и придания им правильной формы.

Указанным выше путем можно подсчитать ожидаемые при выпуске количественные потери руды. Разубоживание же руды при массовом выпуске теоретически подсчитать можно лишь для выпуска из одиночного отверстия. Для совместно действующих отверстий определение ожидаемой величины разубоживания возможно только на основании изучения аналогичных случаев практики и опытов на моделях. Главным условием для последних является сравнимость результатов с натурой. Это достижимо, если учтены свойства руды и ее гранулометрический состав, а также подобны режимы выпуска при моделировании и в производственных условиях. Полного подобия достигнуть трудно.

но, как показывает опыт многих исследователей, даже при этом получаются вполне удовлетворительные результаты. В частности, установлено, что использование для моделирования выпуска материала того же объемного веса, что и в натуре, не оказывает существенного влияния на подобие процесса. При подборе гранулометрического состава материала важно учитывать масштаб модели, но при этом соблюдение подобия крупности для самого мелкого класса не всегда целесообразно, если, например, последний (в масштабе модели) должен быть представлен пылеватым материалом, сильно повышающим слеживаемость по сравнению с натурой.

Очень важно проверить угол или коэффициент трения материала, загружаемого в модель.

Методика постановки лабораторных опытов на моделях и их результаты

Для изучения режима движения руды при выпуске и зависимости от условий выпуска потерь и разубоживания руды в рассматриваемых условиях был проведен ряд лабораторных опытов. Масштаб моделирования принят 1 : 44.

В закрытый деревянный ящик с наклонным (под углом 20°) днищем с отверстиями диаметром 40 *мм*, расположенными по сетке 150×170 *мм*, засыпался дробленый диабаз, гранулометрического состава, соответствующего руде в натуре (кроме весьма крупных глыб). Для контроля за выпуском руды при загрузке модели материалом через 70 *мм* по высоте закладывались «марки» (окрашенные кусочки диабаза). «Марки» были одинаковой крупности с остальным материалом. Укладка их производилась по правильной сетке с помощью шаблона — одинаково в каждом слое.

Руда в натуре для нашего случая отличается большим выходом негабарита, поэтому в модели материал брался крупным, но учитывалась возможность выхода кусков из выпускного отверстия.

Выпуск на моделях производился из одиночного отверстия — с целью проверки тех значений эксцентриситета эллипсоида, которые были приняты выше, и из большого числа отверстий одновременно. Кроме того, изменялось соотношение крупности руды и покрывающих пород. Всего было сделано 16 опытов, по результатам которых построены кривые разубоживания и действительного извлечения руды в зависимости от высоты ее слоя (рис. 3). В каждом опыте выпуск производился из воронок равными дозами, в каждой дозе регистрировались «марки» и таким путем устанавливалась очередность их выхода. Разубоживание руды оценивалось примесью породы в каждой дозе.

Пример расчета нормативов потерь и разубоживания руды для рассматриваемых условий

Рассмотрим методику расчета нормативов потерь и разубоживания руды для блока, конструкция и размеры которого показаны на рис. 2. Вертикальная мощность рудного тела в пределах блока равна 20 *м*.

1. На основании описанной выше методики по всем маркшейдерско-геологическим разрезам, которыми можно было располагать по выработанным или подготовленным блокам, измерены площади отрицательных (потерь) и положительных (разубоживание) отклонений от промышленного (геологического) контура рудного тела по висячему и лежачему бокам, а также соответствующие этим площадям длины участ-

ков условных контактов. Измерение площадей повторялось трижды и бралось среднее арифметическое.

Эти данные по всем разрезам сведены в таблицу, где вычислены соответствующие частные величины линейных отклонений, а затем подсчитаны значения средних арифметических и средних квадратичных отклонений (см. таблицу).

Таблица

Наименование отклонения	Линейные величины отклонений, *м*		
	среднее арифметическое	среднее квадратичное	принятое с учетом организационных соображений
От нижней границы рудного тела:			
отрицательное (потери)	0,2	0,4	0,3
положительное (разубоживание)	0,6	0,6	0,6
От верхней границы рудного тела:			
отрицательное (потери)	0,5	0,7	0,6
положительное (разубоживание)	0,9	1,0	1,1

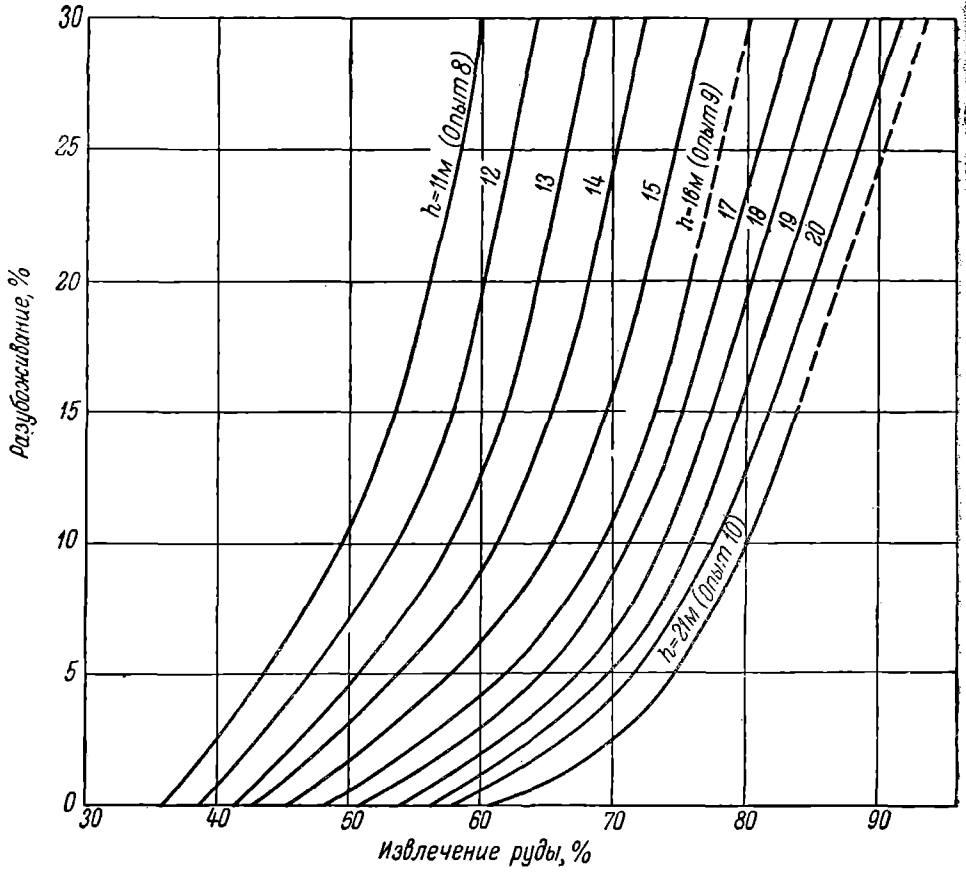


Рис. 3. Зависимость разубоживания от извлечения запаса отбитой руды при разной высоте ее слоя (по данным опытов):
h — высота слоя руды, подлежащей выпуску

Средняя величина положительного отклонения от верхней границы принимается на 10% выше подсчитанной по разрезам с учетом того,

что в данном случае на практике наблюдаются отслоения пород кровли в камерах и что геологический и маркшейдерский контроль за выработками по верхней границе блока более затруднен.

Ожидаемые потери и разубоживание руды за счет отклонений от промышленного контура (в процентах от запасов руды), полученные делением подсчитанных и принятых выше линейных отклонений на переменную мощность рудного тела, показаны в виде графиков на рис. 4 и 5.

2. Как видно из графиков рис. 4 и 5, при вертикальной мощности рудного тела, равной 20 *м*, потери и разубоживание составляют, %:

	вследствие отклонений от висячего бока	от лежачего бока	всего
количественные потери .	3	1,5	4,5
разубоживание	5	3,0	8,0

Если известно содержание полезного компонента отдельно в породах у верхнего и нижнего контактов, то по формуле (3) можно подсчитать среднее.

В нашем случае допустим, что $\alpha = 0{,}8\%$; $\alpha_в'' = 0{,}15\%$; $\alpha_л'' = 0{,}10\%$.

Тогда по формуле (3)

$$\alpha_{ср}'' = \frac{\alpha_в'' r_в + \alpha_л'' r_л}{r_в + r_л} = \frac{0{,}15 \cdot 5 + 0{,}10 \cdot 3}{5 + 3} = 0{,}13\%.$$

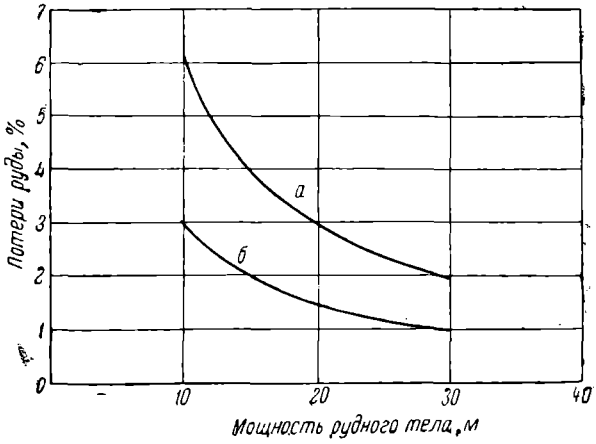


Рис. 4. Потери руды вследствие отклонений от промышленного контура рудного тела:
а — от верхней границы; б — от нижней границы

Подставляя известные числовые значения в формулу (1), получим ожидаемое содержание полезного компонента в отбитой при выемке блока руде (рудной массе)

$$\alpha' = \alpha - \frac{r_{общ}}{100}(\alpha - \alpha_{ср}'') = 0{,}8 - \frac{(5+3)}{100}(0{,}8 - 0{,}13) = 0{,}75\%.$$

3. При параметрах нашего блока, как указывалось ранее, компенсационные камеры и подготовительно-нарезные работы охватывают 40% запасов блока, причем можно считать, что этот запас извлекается практически без потерь (количественных и качественных).

На вторую стадию выемки блока приходится 60% запасов руды и эта руда подлежит массовому выпуску, при котором будут и потери и разубоживание.

Для оценки ожидаемых потерь и разубоживания руды при массовом выпуске воспользуемся рис. 3. Между величинами потерь и разубоживания руды при выпуске под обрушенными породами существует обратная зависимость, а соответственно, между количественным извлечением запаса и разубоживанием — прямая. На рис. 3 показана зависимость потерь и разубоживания руды при выпуске от высоты слоя для нашего случая. Она подтверждает сказанное при рассмотрении

теоретического метода расчета извлечения руды при выпуске. При вертикальной мощности рудного тела 20 *м*, запасе блока, подлежащем массовому выпуску в размере 60% и коэффициенте разрыхления при взрывании 1,45, приблизительная высота слоя выпускаемой руды составит около

$$\frac{60 \cdot 1{,}45}{100} 20 = 17 \text{ м}.$$

Тогда по графикам рис. 3 получаем при выпуске:

при допускаемом разубоживании, %	действительное извлечение руды, %
15	75
20	78
25	81

Таким образом, здесь можно с целью лучшего качества выпускаемой руды пойти на ее потери или с целью снижения потерь допустить более высокое разубоживание. Этот вопрос в каждом случае должен решаться с учетом экономических соображений и технических возможностей предприятия, в частности показателей работы обогатительной фабрики и условий контроля за выпуском руды.

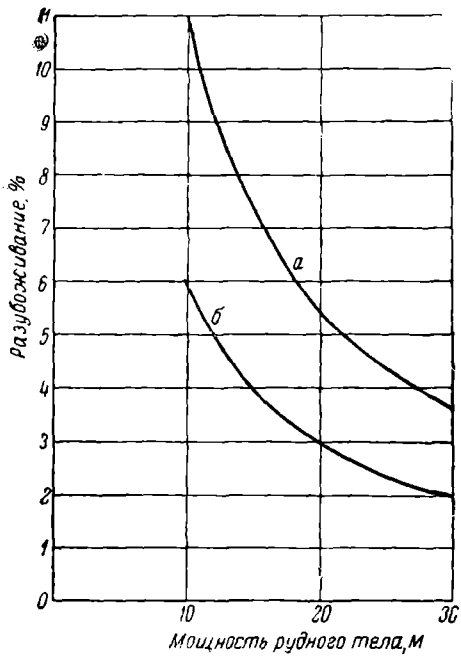


Рис. 5. Разубоживание руды вследствие отклонений от промышленного контура рудного тела:
а – от верхней границы; *б* – от нижней границы

Предположим, что в нашем случае мы остановились на допускаемом разубоживании при выпуске в размере 20%. Тогда по приведенной выше таблице извлечение запаса руды при выпуске следует ожидать в размере 78%, а следовательно, потери руды порядка 22% [1]. Сравнительно низкое извлечение (большие потери) объясняется малой высотой слоя руды.

4. При тех же условиях среднее содержание полезного компонента в руде (рудной массе), получаемой в нашем случае при массовом выпуске, по формуле (1) следует ожидать

$$\alpha'_{\text{вып}} = \alpha' - \frac{r_{\text{вып}}}{100}(\alpha' - \alpha''_{\text{вып}}) = 0{,}75 - \frac{20}{100}(0{,}75 - 0{,}15) = 0{,}65\%,$$

где α' — содержание полезного компонента в отбитой руде, подсчитанное ранее;

$r_{\text{вып}}$ — принятое допустимое разубоживание при выпуске в размере 20%;

$\alpha''_{\text{вып}}$ — содержание полезного компонента в обрушенных породах висячего бока.

[1] Эти величины представляют потери и извлечение руды из запаса подлежащего выпуску, т. е. неразубоженной «чистой» руды, а выход рудной массы (с учетом разубоживания породой) по отношению к запасам будет большим.

5. При 78% извлечения руды (неразубоженной) и 20% разубоживания породой выход рудной массы при выпуске по отношению к запасам руды, предназначенной для выпуска,

$$k_{\text{вып}} = \frac{U_{\text{вып}}}{100 - r_{\text{вып}}} \frac{100}{}\%, \tag{10}$$

где $U_{\text{вып}}$ — извлечение неразубоженной руды;
$r_{\text{вып}}$ — разубоживание при выпуске.

Подставляя соответствующие значения, получим

$$k_{\text{вып}} = \frac{78}{100 - 20} \frac{100}{} = 97\%.$$

6. Подсчитаем ожидаемое среднее содержание во всей добываемой из блока руде в первую и вторую стадии работ вместе

$$\alpha'_{\text{блока}} = \frac{\alpha' \varphi k_{\text{кам}} + \alpha'_{\text{вып}} (100 - \varphi) k_{\text{вып}}}{\varphi k_{\text{кам}} + (100 - \varphi) k_{\text{вып}}}, \tag{11}$$

где α' и $\alpha'_{\text{вып}}$ — содержание полезного компонента в отбитой руде; получаемой из камер и в выпускаемой рудной массе;
φ — камерный запас, равный 40%;
$(100 - \varphi)$ — запас руды, приходящийся на массовое обрушение (и выпуск), составляющий 60%;
$k_{\text{кам}}$ — выход руды из камерного запаса (принимается за 100%);
$k_{\text{вып}}$ — выход рудной массы при выпуске, % от запаса, подлежащего массовому выпуску.

Подставляя эти величины, получим

$$\alpha'_{\text{блока}} = \frac{0{,}75 \quad 40 \quad 100 + 0{,}65 \quad 60 \quad 97}{40 \cdot 100 + 60 \quad 97} = 0{,}7\%.$$

7 Ожидаемое извлечение запаса руды при массовом выпуске составляет 78%, а запас руды для массового выпуска — 60% от запасов блока.

При выпуске руды из камер и при добыче из подготовительно-нарезных работ, что составляет 40% запаса блока, руда извлекается почти полностью, т. е. можно принять здесь извлечение за 100%. Тогда среднее по блоку извлечение отбиваемого запаса руды (при первой и второй стадиях очистных работ) составит

$$\frac{100 \quad 40 + 78 \cdot 60}{40 + 60} = 87\%,$$

т. е. ожидаемые потери отбитой руды при выпуске в среднем по блоку равны 13%.

8. Чтобы определить ожидаемое извлечение руды из геологического запаса блока, необходимо учесть извлечение этого запаса при подготовке и отбойке руды в связи с отклонениями горных работ от промышленного контура рудного тела. Как указано выше, потери были определены в размере 4,5%, т. е. извлечение запаса тогда составит 95,5%, ожидаемое же общее извлечение геологического запаса руды, с учетом

потерь за счет отклонений от промышленного контура при подготовке блока и отбойке руды и потерь при выпуске руды, определится

$$\frac{95{,}5 \cdot 87}{100} = 83\%.$$

Следовательно, общие по блоку ожидаемые потери запаса руды при разработке составят 17%.

Использованная литература

1. Галаев Н. З. Лабораторные исследования влияния выпускаемой воронки на результаты выпуска руды. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXX, вып. 1.
2. Городецкий П. И. Основы проектирования горнорудных предприятий. Гл. V. Металлургиздат, 1955.
3. Малахов Г. М. Выпуск руды из обрушенных блоков. Металлургиздат, 1952.
4. Минаев С. С. Лабораторное исследование выпуска руды. Горный журнал, 1940, № 10—11.
5. Прокопьев Е. П. Метод определения величины потерь руды и ее разубоживания при разработке рудных месторождений. Цветные металлы, 1937, № 4.