

УДК 622.274.44 :622.363.412

В.В. Готов, А.А. Кужиков

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ГЛИНИСТЫХ ЖИЛ МЕЛКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 17

При разработке крутопадающих жил наибольшее распространение получили производительные и в тоже время экономичные, системы разработки с магазинированием руды. Однако область их применения ограничена условием склонности руды к слеживанию по причине присутствия в жильной массе глинистого материала.

Малая глубина залегания мелких месторождений, относительно невысокие температуры и особенности состава минералообразующих растворов обусловили интенсивную аргиллизацию базовых пород и широкое развитие в составе жильного выполнения глинистых материалов. В значительных количествах (20-30 %) глинистые минералы – каолинит, монтмориллонит, галлуазит, гидрослюда и др. присутствуют на месторождениях флюорита. Они образуют различной формы и размеров включения в жильных минералах всех стадий минерализации, заполняют и цементируют пострудные полости и трещины.

Под влиянием влаги, образующейся в процессе бурения шпуров, гидрообеспыливания, естественной влажности воздуха, притока шахтной воды и пр. глина переходит в качественно другое состояние – возрастает вязкость и липкость, уменьшается пористость. В результате руда слеживается, возникают дополнительные по-

тери в виде налипания на лежащем боку, гребней межлюкового пространства, существенно снижается интенсивность выпуска руды из магазина, на долю которого приходится до 50 % от всех трудозатрат связанных с очистными работами.

Переход на другие системы разработки не всегда позволяют горногеологические условия, а если это технически возможно, то резко ухудшаются технико-экономические показатели очистных работ.

Широко используемые современные способы и средство ликвидации завесаний – механический, взрывной, в т.ч. с применением реактивных снарядов положительного эффекта не дают, напротив, приводят к переуплотнению руды, не ликвидируя завесаний.

Статистические данные, хронометражные наблюдения на Гарсонуйском руднике ООО «Кварц», разрабатывающего серию мелких флюоритовых месторождений системой с магазинированием руды, свидетельствуют о том, что присутствие в руде глинистого материала существенно осложняет процесс выпуска. Производительность труда на выпуске не превышает 23,6 т/чел*см, потери руды в среднем по руднику составляют 9,7 %. Две третьих от общего числа завесаний (14,4 шт/100 т) приходится на слеживание замагазинированной ру-

ды. Попытки ликвидации зависания взрывным способом на 40% увеличили расход взрывчатых материалов. Только по жиле Романовская Олимпийского участка в пяти блоках из 40882 т отбитой руды не смогли выпустить

12264 т (30 %). Сложившаяся ситуация существенно снижает уровень оборачиваемости оборотных средств на предприятии, растут материальные затраты, снижается эффективность использования основных фондов.

Степень влияние глинистого материала на процесс выпуска руды из магазинов определялась в лабораторных условиях на физической модели, с соблюдением всех физико-механических свойств исследуемой руды (угол внутреннего трения, силы сцепления, гранулометрический состав и др.). Модель, предназначенная для изучения процесса выпуска руды из узких магазинов, была изготовлена в виде лабораторного стенда иммитирующего выпуск руды из блока размером 40x40 м в масштабе 1:25. Передняя стенка модели подвижная, выполнена из оргстекла и может фиксироваться в разных положениях, что позволяет моделировать выпуск руды при различных ширине очистного пространства и углах наклона рудного тела.

Лабораторные исследования по выпуску замагазинированной руды, содержащей глинистый материал, проводили в два этапа:

1 этап - моделирование ситуаций выпуска глиносодержащей руды, соответствующих фактическому состоянию ведения очистных работ на Гарсонуйском руднике, при соблюдении геометрического подобия всех параметров блока, с подбором требуемого гранулометрического состава руды и процентного содержания глинистого материала.

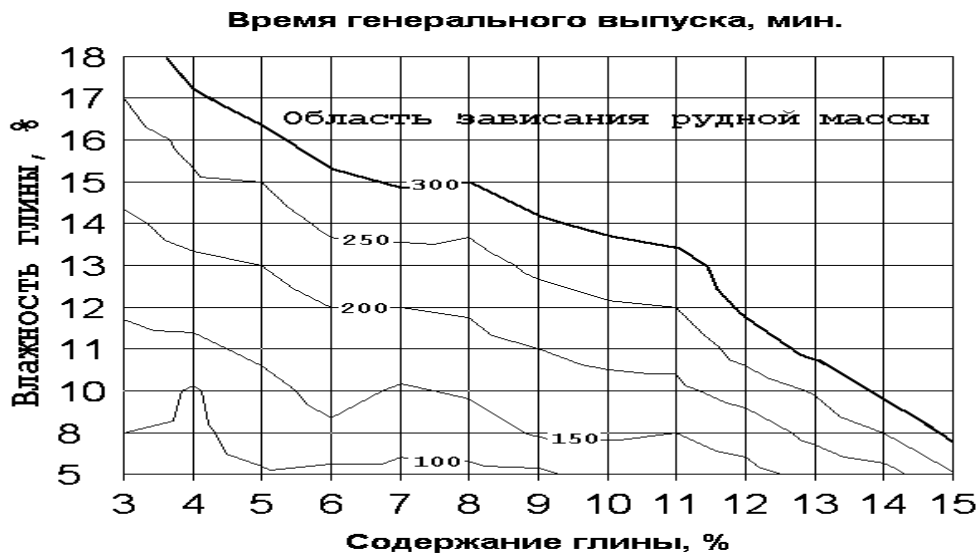
2 этап - моделирование процесса выпуска глиносодержащей руды, в соответствии со способом защищенным патентом, предусматривающим установку в выработанном пространстве перфорированных оросительных труб, через которые перед выпуском руды подают воду в объеме достаточном для доведения глины до состояния текучести [1].

На первом этапе изменяли исходные характеристики отбитого рудного массива: содержание глины, и ее начальная влажность. Раздельно исследовали технологические процессы частичного и генерального выпусков. В журнале наблюдений фиксировали следующие параметры: время выпуска, объем выпущенной руды, возникающие зависания рудной массы в блоке. На втором этапе, в блоке устанавливали оросительные трубы, через которые подавали фиксируемый водомером объем воды, и выполняли аналогичные наблюдения.

Для определения той влажности глины, при которой начинают происходить зависания руды в эксплуатационном блоке, было выполнено 88 экспериментов с шириной очистного пространства 1 м и 82 с шириной 2 м. Начальная влажность руды изменялась от 5 % до значения соответствующего началу зависания руды. Содержание глинистой составляющей в рудной массе изменялось в пределах от 3 % до 15 %.

По результатам лабораторных экспериментов и аналитических исследований получены зависимости значения граничной влажности, при которой появляется зависание руды в магазине, от процентного содержания глинистой составляющей (рис. 1).

Кроме этого, для определения границы начала зависаний руды и трудоемкости выпуска, получены



100 ч 300 время генерального выпуска

Рис. 1. Изолинии времени генерального выпуска

уравнения связи между влажностью глины на границе зависания, и ее содержанием в рудной массе (1), а также продолжительности генерального выпуска в зависимости от процентного содержания глины в руде и ее влажности (2).

$$W_{Г.з.} = 19.912 - 0.725 \cdot \Gamma_{\%}, \quad (1)$$

где $W_{Г.з.}$ - влажность на границе залипания, %; $\Gamma_{\%}$ - содержание глины в руде, %.

$$T = \frac{1}{0.02198 + 0.00064 \Gamma_{\%} - 0.00011 \Gamma_{\%}^2} \times$$

$$\times e^{(\sqrt{0.00562 + 0.0022 \cdot \Gamma_{\%} - 0.00014 \cdot \Gamma_{\%}^2}) \cdot W} \quad (2)$$

где T - время, затрачиваемое на генеральный выпуск, мин; $\Gamma_{\%}$ - содержание глины в отбитой руде, %; W - влажность глины, %.

Результаты экспериментов показали, что применение технологии выпуска с орошением отбитого рудного массива повышает интенсивность ге-

нерального выпуска в среднем в 1,6 раза (рис. 2).

Необходимое количество воды для перевода глинистой фракции в текучее состояние определяют исходя из понятия влажности [2]. Отбитый рудный массив и в частности глинистая составляющая имеют начальную влажность, которая может изменяться в зависимости от горно- и гидро-геологических условий разрабатываемого месторождения. Количество воды $V_{Д}$, которое необходимо добавить, определится как разность между требуемым количеством воды $V_{Т}$ и уже имеющимся в отбитой рудной массе $V_{Н}$.

$$V_{Д} = V_{Т} - V_{Н},$$

$$V_{Д} = \frac{V_{Р} \cdot \gamma_{Г} \cdot \Gamma_{\%}}{\gamma_{В} \cdot 100\% \cdot 100\%} (W_{Г.т.} - W_{Н}), \quad (3)$$

где $V_{Р}$ - объем замагистинированной рудной массы, м³; $W_{Н}$ - начальная влажность глинистой составляющей,

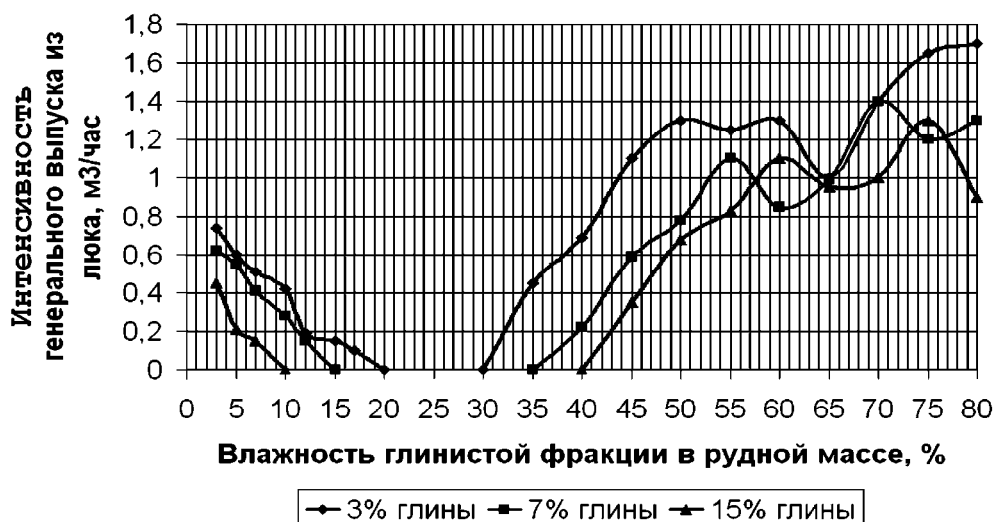


Рис. 2. Интенсивность генерального выпуска на модели в зависимости от содержания глины в руде и ее влажности

%; $W_{г.т.}$ – влажность на границе текущей глинистой составляющей (требуемая влажность), %; $\Gamma_{\%}$ – процент глинистой составляющей в рудной массе, %; $\gamma_B, \gamma_{г.}$ – соответственно плотность воды и плотность скелета глинистой составляющей, т/м^3 .

Аналитическими исследованиями, на Олимпийском участке Гарсунуйского рудного поля, установлены тесные корреляционные связи: плотности скелета глинистой составляющей $\gamma_{г.}$ и начальной влажностью W_H , а также влажностью на границе раскатывания $W_{г.т.}$ и плотностью глинистой фракции γ . Для практической реализации, предлагается следующее выражение

$$V_d = \frac{V_p \sqrt{2,05494 + 0,03887W_H - 0,00149W_H^2}}{\gamma_B 100\% \cdot 100\%} \times \left(\frac{1}{-0,00875 + 0,01954\gamma} - W_H \right) \Gamma_{\%}, \quad (4)$$

Предварительные расчеты показали ограниченные возможности шахт-

ного трубопровода для нормального функционирования системы орошения. Поэтому процесс рекомендуется проводить последовательным включением водоподающих труб, а в случае необходимости использовать эффект эрлифта, путем подключения в оросительную систему магистрали сжатого воздуха. Применения эрлифта, для шахтного трубопровода, установленного на Олимпийском участке Гарсунуйского рудного поля, позволяет увеличить гидростатический напор на 20 м, что существенно увеличивает производительность оросительной системы при орошении верхних слоев замагазинированной руды.

Фильтрация воды через рудный массив является одним из важных вопросов в определении параметров оросительной системы. При орошении крупнообломочного рудного массива, орошающая жидкость (вода) движется вниз под действием гравитационных сил, а растекание в стороны, происходит по причине попада-

ния ее на наклонные поверхности кусков руды. Получить основные параметры движения жидкости через рудный массив прямым измерением не представляется возможным, поэтому решение задачи выполнялось с помощью имитационного моделирования на математической модели, т.е. численного эксперимента [3]. Основным исходным параметром в задаче фильтрации воды через крупнообломочную массу руды является ее гранулометрический состав. Для проведения численного эксперимента необходимо построить его математическую модель, используя обратную функцию. Гранулометрический состав обычно представляют в табличном виде, математическое выражение обратной функции распределения гранулометрического состава проще получить, определив корреляционную зависимость между размером рудного куска и плотностью распределения.

$$d = \frac{F}{0,21346 + 3,26408F - 2,76425F^2}, \quad (5)$$

где d – размер (диаметр) рудного куска, м; F – накопленная частота.

Данное уравнение имеет высокую степень надежности (аппроксимации): коэффициент корреляции $r = 0,99$ и стандартное отклонение $\sigma = \pm 0,067$ при вероятности $P = 0,95$. Выражение (5) напрямую позволяет моделировать размеры рудных кусков, путем подстановки вместо параметра F – накопленной частоты, значения от датчика случайных чисел с равномерным законом распределения. В этом случае, полученное распределение, полностью будет соответствовать распределению гранулометрического состава руд на исследуемом месторождении.

Предположив, что орошаемая жидкость может свободно падать с

высоты, равной размеру рудного куска, набирая при этом скорость свободного падения, или стекать по наклонной поверхности куска со скоростью, зависящей от угла наклона поверхности. Введя дополнительные ограничения на скорости движения жидкости и положение поверхности рудного куска в пространстве, а также используя известные формулы гидравлики, движения жидкости в открытых руслах, из выражения (6) определяют скорость движения жидкости по поверхности куска руды

$$V = 25 \left[\frac{\frac{\Delta h}{2}}{\left(80 \frac{\Delta h}{2}\right)^6 + \frac{0,025}{\sqrt{i \frac{\Delta h}{2}}}} \right]^{1/6} \sqrt{i \frac{\Delta h}{2}} \quad (6)$$

где V – скорость движения жидкости, м/с; Δh – шероховатость поверхности куска, м; i – гидравлический уклон.

Выражение (6) является вектором, положение которого в пространстве однозначно определяют размером куска руды и ориентацией его поверхности в пространстве.

Полученные формулы моделирования: - гранулометрического состава (5) и - скорости водного потока по поверхности рудного куска (6), позволяют построить математическую модель движения воды через крупнообломочный массив замагазинированной руды. Средние значения скорости движения воды и ее направление получают суммированием всех возможных векторов движения орошаемой жидкости.

Результаты моделирования, которое было выполнено с помощью ма-

тематического процессора "MathCad" (всего было выполнено 100000 подсчетов), позволили рассчитать основные статистические параметры, характеризующие водный поток через рудную массу:

- Средняя скорость потока воды через отбитую рудную массу $V_{CP} = 1,306$ м/с.

- Стандартное отклонение средней скорости $\sigma = \pm 0,680$ с вероятностью $P = 0,95$.

- Угол падения (растекания) водного потока по отбитой рудной массе $\beta = 57,2^\circ$.

- Средняя скорость потока воды через отбитую рудную массу в горизонтальном направлении $V_{Г} = 0,707$ м/с.

Средняя скорость потока воды через рудную массу в вертикальном направлении $V_{В} = 1,098$ м/с.

Среднее значение угла растекания водного потока по рудной массе, полученные в результате модельного эксперимента, составило $\beta = 51^\circ$. Это достаточно хорошая сходимость, так как в модели орошаемая жидкость протекает через мелко-кусковатую фракцию, что обеспечивает более пологое растекание жидкости. Таким образом, по результатам моделирования, получены следующие зависимости:

- угла распространения водного потока от среднего размера рудного куска

$$\beta = 59.02164 + 2.32905 \cdot \ln(D), \quad (7)$$

- средней скорости водного потока от среднего размера рудного куска

$$V_{CP} = 1.41783 + 0.16262 \cdot \ln(D), \quad (8)$$

где β – угол падения (растекания) водного потока через замагазинированную рудную массу, град.; D – среднестатистический диаметр куска

руды, м; V_{CP} – средняя скорость водного потока, м/с.

Система из оросительных труб, проложенных в блоке с замагазинированной рудой, представляет собой достаточно сложную систему и требует проведения расчетов по отдельным ее элементам с учетом возможностей шахтного трубопровода.

Предлагаемая методика расчета включает:

- расчет диаметра и количества оросительных отверстий, в зависимости от гидростатического напора (возможности шахтного трубопровода);

- расчет расходных характеристик оросительной системы и выбор диаметра оросительных труб, в том числе с использованием эффекта эрлифта;

- выбор конструкции оросительных секций и расчет расходных характеристик по каждой секции или для каждого отбиваемого слоя руды;

- определение времени орошения отбитой рудной массы, для доведения ее до текучего состояния;

- определение количества оросительных труб на один эксплуатационный блок.

Определение количества оросительных труб выполняется из условия полноты орошения отбитой рудной массы. Участки руды, не подвергшиеся орошению, склонны к зависанию, а это дополнительные потери. Поэтому главным критерием для решения этой задачи служит оценка величины вероятных потерь руды в очистном блоке, которые определяют из выражения

$$\Pi = \frac{L \cdot \operatorname{tg} \beta}{4 \cdot n \cdot H \cdot k} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где Π – вероятные потери руды, вследствие не полного орошения, %; L – длина эксплуатационного блока, м; β – угол растекания (падения) воды

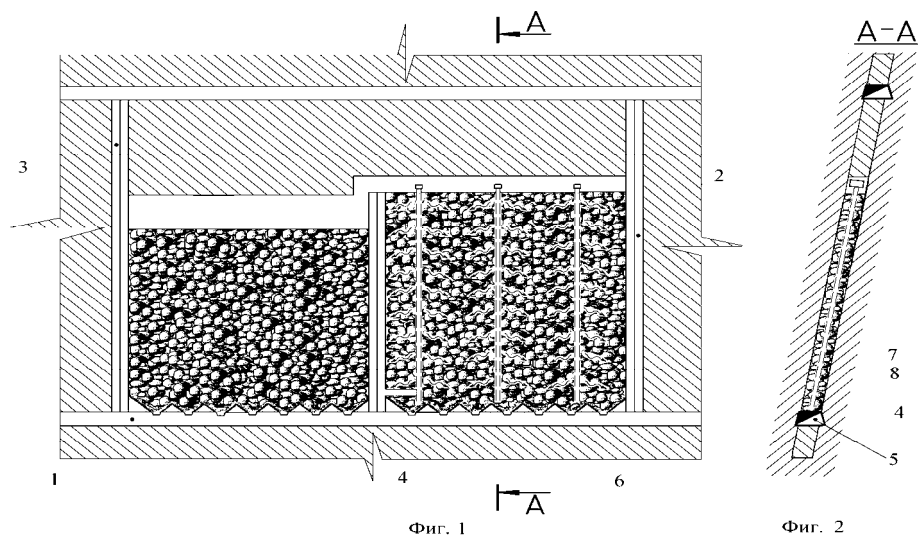


Рис. 3. Схема подготовки и отработки блока с применением технологии орошения рудного массива: 1 – откаточный штрек, 2 и 3 – блоковые восстающие, 4 – искусственное днище, 5 – выпускные люки, 6 – гидроизоляция, 7 – водопадающие трубы, 8 – защитный башмак

при орошении, град.; k – коэффициент разрыхления; H – высота эксплуатационного блока, м; n – количество установленных труб, шт.

Производственные испытания, предлагаемого способа выпуска, проводились в блоке №3 жилы Романовской Олимпийского участка Гарсунуйского рудного поля. Параметры блока соответствовали общепринятым, среднее содержание глинистого материала в отбитой руде составило 15 %. С целью обеспечения большей наглядности и сравнимости результатов от проводимых работ опытный блок был разбит на два равных полублока (рис. 3). Первый полублок оставили в том состоянии, которое соответствует принятой на руднике технологии очистных работ, второй оборудовали системой орошения. Порядок подготовки и нарезки блока соответствовал традиционно применяемой на жильных месторождениях сис-

теме с magazинированием руды. Дополнительно во втором полублоке между выпускными люками уложили гидроизоляцию из полиэтиленовой пленки толщиной 3 мм, со стороны висячего бока в очистное пространство завели водопадающие трубы диаметром 50 мм. (буровые штанги). В трубах, через 800 мм, со стороны отбитого рудного массива, высверлили по три отверстия диаметром 4 мм.

Трубопровод подключили к магистралям шахтной воды и сжатого воздуха. После очередного частичного выпуска трубы наращивали с помощью соединительных муфт, одновременно закрепив к висячему боку с помощью вязальной проволоки, деревянных пробок забитых в короткий шпур. Во втором полублоке установили три оросительных трубы на расстоянии 8 м друг от друга и 4 м соответственно от блокового восстающего и центра блока. Особенностью про-

ведения буровзрывных работ во втором полублоке явилось соблюдение условия сохранения оросительных труб от повреждения в момент взрывания зарядов шпуров. Для этой цели вруб в забое располагали в промежутке между оросительными трубами, таким образом, направляя действие взрыва в противоположную сторону. Кроме этого, на торец трубы надевали предохранительный «башмак» изготовленный из куска рельса Р-24. Испытания проводились отдельно, как для частичного, так и для генерального выпусков. Результаты подтвердили техническую возможность и экономическую эффективность применения способа выпуска с орошением глиносодержащего отбитого рудного массива при отработке

жил системами с магазинированием руды. Новая технология выпуска позволила повысить производительность труда на выпуске в 1,5 раза, сократить потери руды в блоке в 1,6 раза.

Испытания также показали, что во втором полублоке поток руды сделался более управляемый, зависания не зафиксированы, также не наблюдалось перепуска руды, надёжно функционировала вся оросительная система, доказана эффективность использования эрлифта. Кроме этого, прекратились налипания глины на кузова вагонеток, стенки приемного бункера и конвейерную ленту на обогатительной фабрике, выходная шель щековых дробилок не забивалась глинистым материалом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Готов В.В. Кужиков А.А. Способ выпуска отбитой руды, содержащей глинистый материал. Патент 2232273 Россия – Оpubл. - 10.07.2004.бюл. №19.

2. Грунтоведение. Изд. 3-е./ Под ред. Е.М.Сергеева. – М.: Изд-во МГУ, 1971.

3. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло.- М., Наука, 1973. **ПТАБ**

Коротко об авторах

Готов В.В. – заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент, Читинский государственный университет.

Кужиков А.А. – директор ООО «Промышленная компания Кварц», кандидат технических наук.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 17 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Ж. Арнс.

