

Лекция 5

4. КУЧНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ (КВ) МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

4.1. Специфика процессов КВ

Принципиально процессы подземного и кучного выщелачивания идентичны. Отличие состоит в том, что в первом случае выщелачивание происходит на месте залегания полезного ископаемого, без извлечения руды на поверхность, во втором – полезное ископаемое извлекается на поверхность, формируется в штабели и затем выщелачивается.

Использование технологии кучного выщелачивания позволяет ликвидировать ряд процессов рудоподготовки минерального сырья, характерных для традиционной технологии переработки: дробление и измельчение. Процессы дробления и измельчения являются одними из самых трудоемких и дорогостоящих, их исключение позволяет значительно снизить производственные затраты на переработку минерального сырья, что в свою очередь позволяет перерабатывать более бедные по содержанию полезного компонента руды, вовлекать в переработку забалансовые руды и хвосты переработки, полученные при традиционной технологии извлечения полезного компонента из руд.

Наступает пора прекращения базирования технологий с выбросом отходов для естественного разбавления в водных и воздушных бассейнах (рис. 4.1.) и приступить к использованию техногенных газовых, водных и твердых образований для добычи цветных редких и благородных металлов путем

широкого применения производств по полуоткрытым (КВ) и совершенно закрытым системам (малоотходные и безотходные технологии).

Полуоткрытая система производства опирается на фундаментальный принцип частичного использования отходов. Это так называемые системы малоотходного производства, предусматривающие создание и эксплуатацию специальных очистных сооружений, специальных хвостохранилищ, организацию частичного водооборота в замкнутом производстве для обеспечения понижения водопотребления, реализацию возможности выделения в попутную продукцию многих, ценных компонентов сопутствующих основному добываемому элементу.

В целом эффективность полузакрытых систем производства определяет широкое внедрение новых технологических процессов и методов, создание новой рациональной технологии переработки миллиардов тонн минерального сырья, понижает вредное воздействие на окружающую среду и обеспечивает более полное выделение ценных компонентов из важнейших природных ресурсов. Кардинальным решением очистки газовых выбросов от вредных примесей, например, сернистого газа, выделяемого при пирометаллургической переработке сульфидных концентратов является замена пирометаллургии на гидрометаллургию, для которой не характерен выброс соединений серы в атмосферу (рис. 4.2.).

Учитывая тяжелое состояние воздушного бассейна США, его правительство вынуждено было принять закон об установлении денежного штрафа за каждый килограмм выброшенной в атмосферу серы в размере от 2 до 20 центов. Это сделало работу многих пирометаллургических предприятия нерентабельной. Поэтому только в медной промышленности было переоборудовано 50 предприятия с пирометаллургических схем на гидрометаллургические.

Производство меди гидрометаллургическими методами возросло с 7 до 20 % и достигло общего объема производства 1,5 млн. т в год.

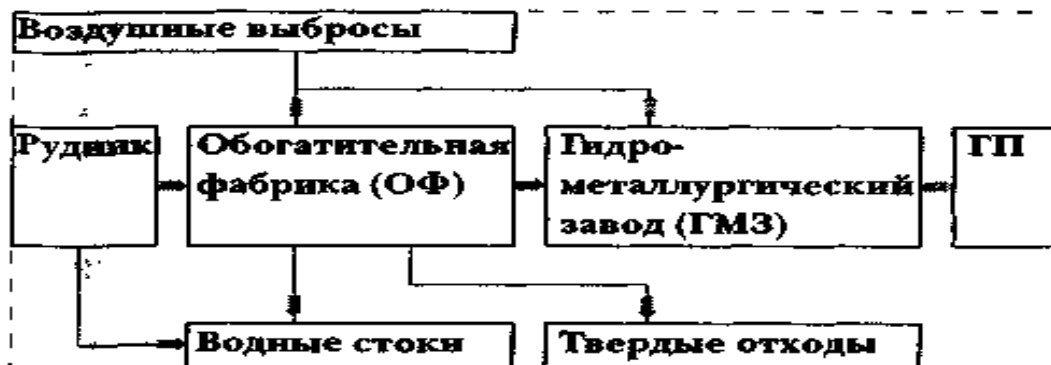


Рис. 1. Схема добычи и переработки минерального сырья при работе в открытой системе. ГП – готовая продукция.

Рис. 6.1. Схема добычи и переработки минерального сырья при работе в открытой системе. ГП – готовая продукция

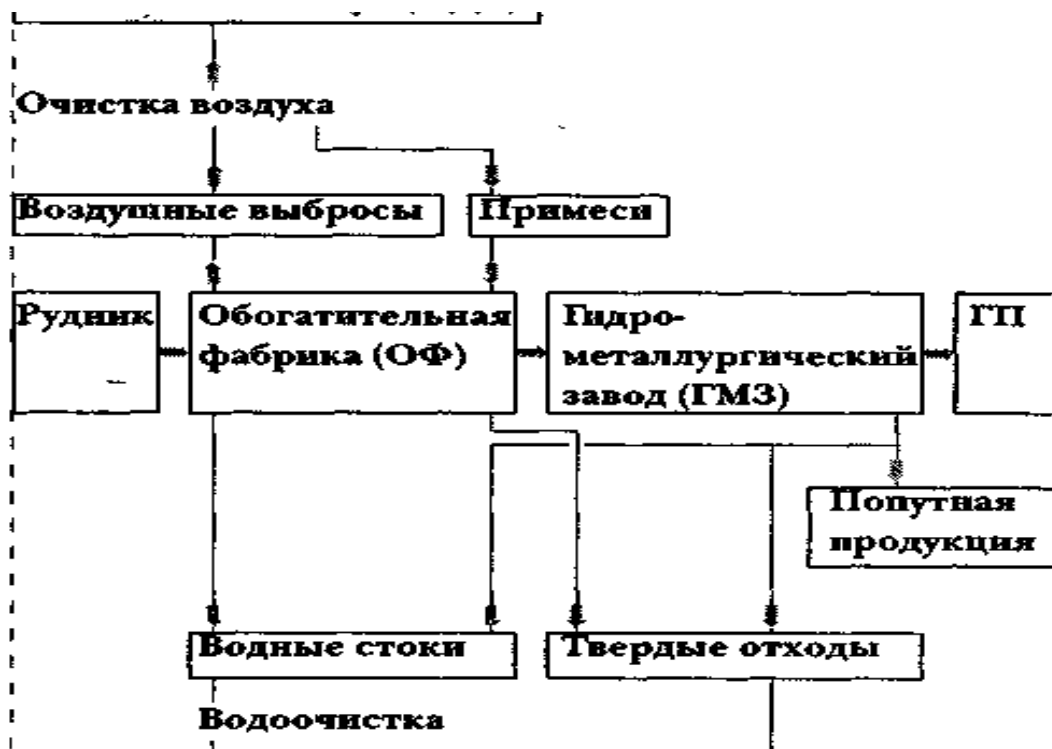


Рис. 4.2. Схема добычи и переработки минерального сырья при работе в полукоткрытой системе:

4.1.1. Хронология развития процессов кучного выщелачивания минерального сырья

XVI век — выщелачивание медьсодержащих отвалов в Германии в кучах площадью 90 x 120 м и высотой 6-9 м с рециркуляцией выщелачивающих растворов;

XVII век — выщелачивание в Венгрии меди из отвальной породы с рециркуляцией медьсодержащих растворов;

1752 г. — выщелачивание меди в больших кучах на берегу реки Рио-Тинто;

1900 г. — кучное выщелачивание с выдерживанием и аэрированием кучи после дренирования растворов для увеличения извлечения меди;

1905 г. — агломерация глинистых руд с тонкодисперсным распределенным золотом проведена Скратоном Т.С. с получением агломератов при скатывании руды по желобу, установленным под углом 60° (агломераты непрочные и разрушаются при высоте штабеля выше 9 м);

1931 г. —упрочнение агломератов для алюмосиликатных руд добавками карбоната кальция;

1950 г. — начало работ по кучному выщелачиванию урана сернокислотными и карбонатными растворами;

1967 г. — предложение Горного бюро США об организации кучного выщелачивание благородных металлов;

1970 г. — создание по инициативе Горного Бюро США метода получения пористых механически прочных полимероподобных агломератов с хорошей проницаемостью для цианидных растворов;

1971 г. — кучное выщелачивание золото- и серебросодержащих руд цианистыми растворами в штате Невада в США;

1972 г. — организация промышленных установок в России по кучному выщелачиванию урана из отвалов радиометрических обогатительных фабрик (РОФ) и радиометрических контрольных станций (РКС);

1974 г. — организация крупномасштабных установок по кучному выщелачиванию меди из отвалов обогатительных фабрик с долей выпуска меди 15 % в общем производстве США;

1975 г. — применение агломерации низкосортных руд глинистых месторождений;

1978 г. — первые укрупненные опыты по цианированию золота из агломерированной руды в Неваде;

1979 г. — промышленное получение золота методом кучного цианирования в США в количестве 7 % от общего выпуска золота;

1980 г. — промышленное применение процесса агломерации рудного сырья на золотоизвлекающем заводе в штате Невада в США;

1986 г. — увеличение доли промышленного производства по методу кучного выщелачивания в США до 30 %.

4.1.2. Масштабы применения процессов кучного выщелачивания

В зарубежных странах, включая США, Канаду, Чили, Мексику, Перу, Замбию и др., действует более 200 установок для кучного выщелачивания [3]. Из них 115 установок по извлечению золота, в том числе 37 с окусковыванием руды цементно-цианидными компонентами; 41 установка по извлечению меди из окисленных руд с содержанием меди 0,4-1,6 % и 1 установка для извлечения серебра.

В США и Канаде действуют установки для кучного выщелачивания производительностью от 120 тыс. т до 2 млн. т руды в год. Многие установки по кучному выщелачиванию далеки от идеальных. Относительно низкое извлечение золота (75 %) и серебра (50-60 %) считается вполне приемлемым для переработки бедного сырья, поскольку вовлечение в переработку, например, с содержанием золота 1-2 г/т обеспечивает увеличение запасов используемой руды в месторождении в 1000 раз (рис. 4.3.). В настоящее время на установках с кучным выщелачиванием руды перерабатывают минеральное сырье с содержанием золота 0,65 г/т. Можно улучшить показатели процесса кучного выщелачивания глинистых руд, применяя агломерационное окусковывание [2]. Сравнительно с чановым выщелачиванием при кучном процессе капитальные затраты снижаются на 68 %, а эксплуатационные на 34%. Продолжаются работы по обобщению производственного опыта эксплуатации установок кучного выщелачивания золота цианистыми растворами, определяется эффективность применения оборотных растворов и качества используемой воды на различных стадиях

технологического процесса, рассматриваются усовершенствования, позволяющие снизить затраты и повысить эффективность процесса кучного выщелачивания, уделяется особое внимание вопросам окружающей среды, включая обезвреживание цианистых растворов. Рассматриваются возмож-



Рис. 4.3. Зависимость запасов золота в рудных залежах от содержания золота в перерабатываемой руде (Джеррит Каньон * Хоумстейк)

ности использования нецианистых реагентов для извлечения Au , Ag [3].

4.1.3. Общие положения

Независимо от специфических особенностей рудного сырья процесс кучного выщелачивания включает следующие операции (рис. 4.4.):

- добыча минерального сырья (рудник или карьер);
- рудоподготовка, включая агломерацию;

- сооружение площадки и отсыпка штабеля;
- орошение штабеля выщелачивающими растворами;
- дренирование и сбор продуктивных растворов;
- хранилище продуктивных растворов;
- извлечение ценных компонентов из продуктивных растворов, включая получение готовой продукции;
- хранилище маточных растворов.



Рис. 4.4. Принципиальная схема кучного выщелачивания

Золотосодержащего минерального сырья

В настоящее время в промышленной практике известны два основных способа кучного выщелачивания. По первому выщелачивают недробленую руду забойной крупности, которая образуется в результате только взрывных работ. Выщелачивание такой руды проходит в течение длительного времени, например, в течение нескольких лет. По второму способу руду предварительно дробят до крупности — 25 мм или — 12 мм.

4.1.4. Климатические условия и размещение участков

кучного выщелачивания

Разные регионы земли имеют совершенно отличающиеся климатические условия.

Промышленные установки по кучному выщелачиванию размещают на самом месторождении, так как транспортировать бедное минеральное сырье крайне невыгодно. Поэтому приходится эксплуатировать такие установки в сильно отличающихся условиях, которые требуют поиска адекватного проектного решения.

В засушливых местностях с сухим аридным климатом при орошении куч выщелачивающим раствором наблюдается его сильное испарение. Это требует применения специальных оросительных систем и даже применения наружного пленочного покрытия поверхности рудного штабеля для уменьшения его нагревания и снижения ветрового воздействия как это практикуется в США в штате Невада.

В районах с большим выпадением осадков в виде дождей и даже ливней ливневые воды фильтруются через рудный штабель и часто выносят большие количества шламов. Они могут выноситься в коллекторную систему. Для предупреждения попадания этих шламов в систему переработки продуктивных растворов часто бывает оправданным применение площадок осветления. Эти площадки обычно сочетают с конструкцией и размерами карт накопления продуктивных растворов. Размеры их основывают на оценках количества осадков, выпадающих за суточный период. Размер осветляющих площадок зависит в основном от количества тонкого материала в рудном штабеле. Поэтому штабель с высоким содержанием

шламов, например, 60 % — 0,040 мм, требует большей осветляемой площади, чем штабель из руды забойной крупности.

Экстремально обильные осадки могут вызвать разрушение конструкции рудного штабеля, нарушение целостности отдельных его элементов с выносом продуктов разрушения в окружающее пространство. Поэтому проектом должны предусматриваться мероприятия, обеспечивающие требования органов по охране окружающей среды.

Климатические условия в районах с образованием льда долгое время считались неподходящими для создания производств с кучным выщелачиванием минерального сырья. Но постепенно география размещения установок для кучного выщелачивания смещалась в северные и горные районы, для которых характерны морозы не только в ночное время, но и в течение длительного времени сохраняются минусовые температуры. При низких температурах отмечено замедление процесса выщелачивания. Поэтому фирмы «Смоки Клей Майнин» и «Эксплорейшн Компани» ввели подогрев выщелачивающих растворов газом до +17°C и тем самым увеличили период активного выщелачивания (рис. 4.5.).

Повышение температуры внутри рудного штабеля в ряде случаев достигается прослаиванием штабелируемого рудного материала сульфидными материалами. Реакции их окисления при выщелачивании идут с выделением тепла, которое и поддерживает плюсовую температуру растворов внутри выщелачиваемого штабеля.

Для местностей с суровой зимой, например, Северо-Востока России или Аляски, разработана технология траншейного кучного выщелачивания, уменьшающая тепловые потери при кучном выщелачивании. При его осуществлении вначале производят выемку грунта и полученную траншею

глубиной до 30 м покрывают антифильтрационным слоем, например, бетоном толщиной 20 см.

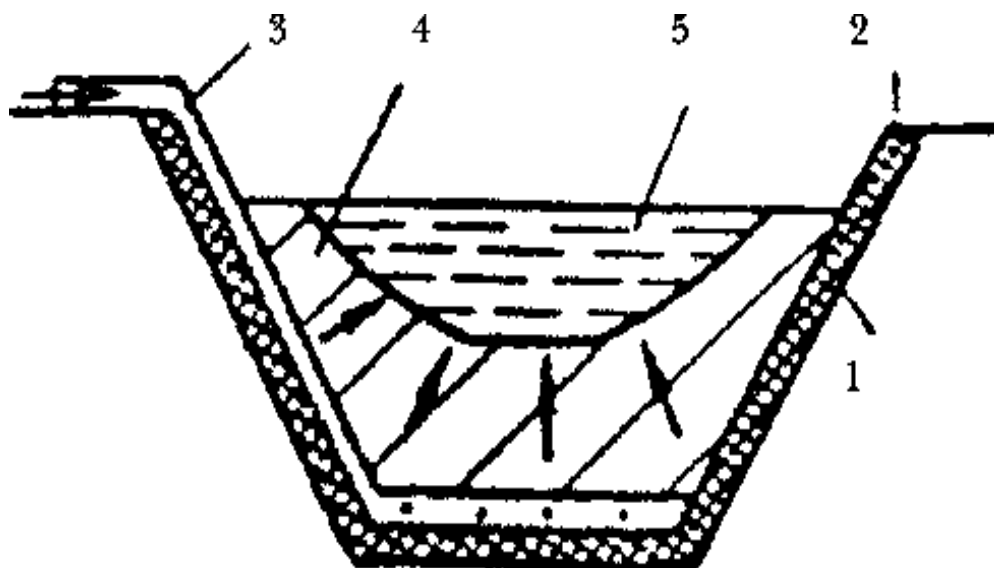


Рис. 4.5. Схема кучного выщелачивания при отрицательных температурах окружающей среды:

1 - гидроизоляционный слой; 2 - слой глины; 3 - дренаж для распределения выщелачивающего раствора; накопитель для продуктивного раствора 4 - рудная масса;

5 – прудок

После этого на дно траншеи укладывают перфорированный трубопровод. Затем в летний период формируют из некондиционных пород с содержанием золота 0,5-2 г/т штабель высотой 15-25 м с чашеобразной поверхностью глубиной в центре чаши 2-3 м.

В зимний период в дренажный трубопровод подают выщелачивающие растворы с направлением фильтрации снизу вверх. При подаче растворов в режиме отсутствия объемных вод реагент мигрирует в пленочном режиме в верхние слои штабеля, производя выщелачивание нужного компонента. Попадая на поверхность продуктивные растворы образуют ледяную линзу,

которую периодически удаляют тельферами и передают на установку выделения ценного компонента из продуктивного раствора.

В теплый период времени направление миграции выщелачивающих растворов изменяют — реагент подают на поверхность штабеля, а дренажный перфорированный трубопровод используют в качестве раствороприемника.

Описанное техническое решение повышает интенсивность проведения процесса кучного выщелачивания и увеличивает продолжительность кампании проведения самого процесса выщелачивания за счет использования зимнего времени.

4.1.5. Рельеф и топография местности для размещения штабелей рудного сырья на участках кучного выщелачивания

Штабеля бедной руды для проведения процесса кучного выщелачивания отсыпают вблизи места их добычи. Рудные залежи обычно находятся в самых различных по топографии местах. Это и равнинные участки, и площади, примыкающие к рекам и водохранилищам, это и холмистая местность с большим количеством оврагов и балок, это и предгорья и, наконец, это склоны гор.

Ограничения в землепользовании, высокая арендная плата за отчужденные участки, а также некоторая свобода в охране окружающей среды заставляют использовать неудобья в качестве площадок для размещения штабелей кучного выщелачивания бедной руды и для постоянного хранения остатков рудной массы после ее выщелачивания. Для

различных топографических условий отработано несколько типовых площадок размещения рудных штабелей (рис. 4.6 - 4.10.):

- горизонтальная площадка;
- наклонная поверхность для одиночного штабеля;
- наклонная площадка для сгруппированных штабелей;
- в отработанном карьере;
- в природной ложбине или на склоне горы с выемкой.

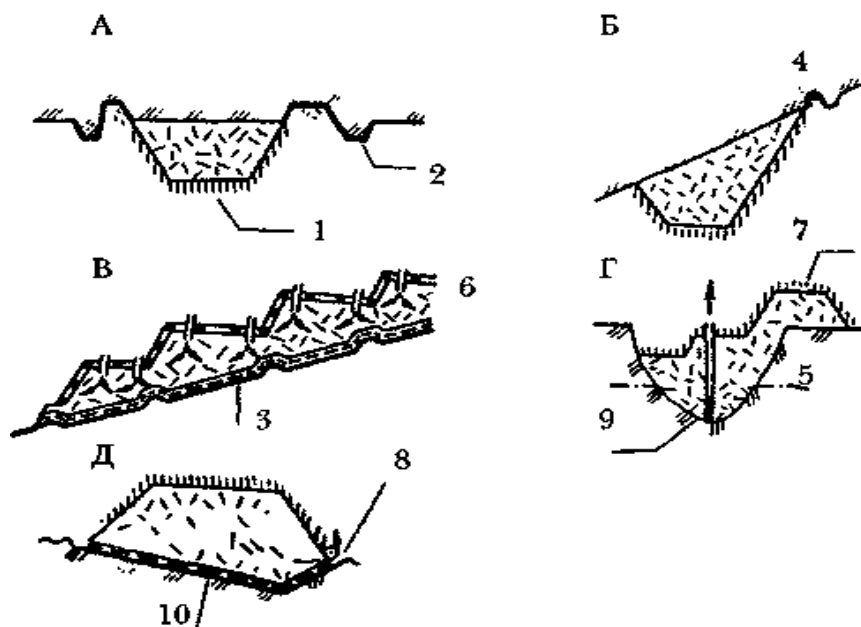


Рис.4.6. Принципиальные схемы расположения рудных штабелей для кучного выщелачивания в различных топографических условиях:

А - горизонтальная площадка, Б - наклонная площадка для одиночного штабеля,

В — наклонная площадка для сгруппированных рудных штабелей, Г ~ площадка в отработанном карьере, Д - площадка на поверхности горного склона с выемкой. 1 - поверхность земли; 2 - гидроизоляционный слой; 3 - дренажный слой; 4 - перерабатываемая руда; 5 — пьезометрический уровень; 6~7 - оросительные устройства; 8 — насос; 9 - откачной эрлифт; 10-рекультивированный слой



Рис. 4.7. Типовой профиль района и размещение площадок
кучного выщелачивания



Рис. 4.8. Типовой разрез площадки кучного выщелачивания
через штабель



Рис. 4.4.8.а. Типовой разрез участка кучного выщелачивания через карту

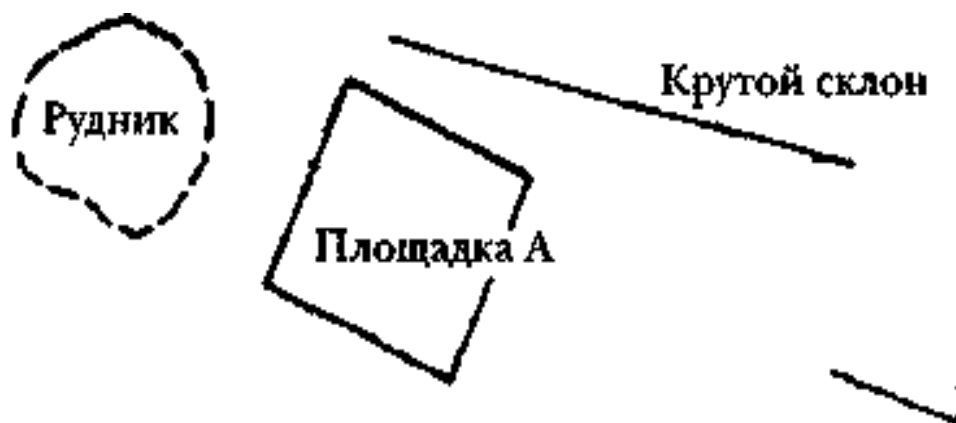


Рис. 4.9. Выбор площадки для кучного выщелачивания с учетом экономических факторов на базе сметных затрат



Рис. 4.10. Выбор площадки для кучного выщелачивания с учетом коэффициентов выгоды и взвешивания.

4.2. Минеральное рудное сырье для КВ

Чаще всего в США в Неваде по методу кучного выщелачивания перерабатывают руды с содержанием золота 1,1-1,4 г/т руды [4]. В Канаде и США есть руды склонные к саморазрушению. Такие руды подвергают кучному выщелачиванию без предварительного дробления [5].

Содержание золота в рудах при кучном цианировании в США достигает 2,2 г/т и даже 2,5 г/т. На многих рудниках в США изучают эффективность извлечения золота из старых отвалов после дополнительного дробления их до крупности — 6 мм. Додробленные руды загружают в кучи на асфальтированные площадки при циркуляции цианидным раствором извлекают из руды до 70 % золота [6]. Руда для цианидного кучного выщелачивания не должна содержать много углерода (органических

соединений), сорбирующих золотоцианистый комплекс, а также не должна содержать большого количества шламов, препятствующих просачиванию растворов.

4.2.1. Физико-химические свойства рудного материала

Массовые характеристики включают в себя такие характеристики, как объемный вес (вес ненарушенного объема горной породы с естественной влажностью), удельный вес (вес ненарушенного объема горной породы без объема порового пространства), плотность (масса единицы объема горной породы), насыпной вес (масса дробленной горной породы уплотненной постукиванием для усадки в единице объема).

Электрические свойства горной породы включают электропроводность (характеризуется удельной электропроводностью или удельным электрическим сопротивлением и коэффициентом электроанизотропии), электрическая прочность (способность сопротивляться разрушающему действию электрического напряжения и измеряемая пробивным напряжением), поляризация (способность горной массы взаимодействовать с окружающим электрическим полем и оцениваемая относительной диэлектрической проницаемостью и углом диэлектрических потерь).

Воздействие электромагнитных полей промышленной высокой и сверхвысокой частот преследует цели получения теплового и термомеханического эффекта, интенсификации химических реакций и процессов диффузии и фильтрации. В конечном итоге это вызывает стимулирование процессов кучного выщелачивания и в настоящее время получены обнадеживающие результаты по интенсификации процессов выщелачивания меди.

Сущность электрического нагрева рудного материала заключается в превращении электрической энергии в тепловую непосредственно на месте переработки за счет диэлектрических потерь. Прогрев рудной массы определяется уровнем плотности вводимой в массив энергии, которая зависит от величины напряженности электрического поля. Поглощающая способность горной среды возрастает с увеличением частоты прилагаемых полей, поэтому применение электромагнитных полей сверхвысокой частоты имеет большие перспективы. Электромагнитное поле в массиве создается с помощью электродов, опускаемых в специально созданные скважины, расположенные по контуру подлежащего разогреву массива, кучи.

Электромагнитное воздействие на рудные материалы в ряде случаев позволяет увеличить его фильтрационную способность. Разрушение рудного материала может быть достигнуто за счет термоупругих напряжений, возникающих в локально нагретых областях. Исследования показали, что в поликристаллических рудных материалах за счет разности электрических и тепловых свойств кристаллов отдельных минералов неравномерный разогрев электромагнитным воздействием вызывает явления интергранулярного разрушения, т.е. разрушения по границам кристаллов. Кроме того, за счет возникновения высоких температур вокруг проводящих включений происходит интенсификация химических реакций. Все это приводит к довольно высокому повышению эффективности процесса выщелачивания.

В процессе испытаний обнаружен так называемый «нетепловой» эффект интенсификации процесса выщелачивания. Механизм его возникновения основывается на электрохимических процессах и зависит от свойств разогреваемой рудной массы, частоты и напряженности электромагнитного поля. Обладая большой проникающей способностью, электромагнитные поля способствуют ускорению химических процессов, протекающих внутри значи-

тельного объема среды, более эффективно, чем химические катализаторы, действие которых возможно лишь при поверхностном контакте с рудным материалом.

К магнитным свойствам относятся магнитная восприимчивость (свойство горных пород намагничивания под действием внешнего магнитного поля), остаточная намагниченность (свойство горных пород сохранять намагниченность).

К радиационным свойствам горных пород относятся естественная радиоактивность (способность горных пород создавать радиоактивное излучение) и способность горных пород поглощать α, β, γ — излучение, а также нейтронное излучение.

Пористость и проницаемость слоя. При осуществлении контактов применяемых растворителей с минералами важно иметь эффективную или открытую пористость, которая определяет возможность осуществления многих процессов, так как позволяет перемещаться в рудном массиве рабочим реагентам и растворенному полезному компоненту под воздействием различных факторов [7].

Общая пористость определяется отношением объема пустот и пор к объему горной породы. Динамическая пористость характеризует объем тех пор, по которым может фильтроваться жидкость. Площадь поверхности, образуемая стенками пустот и пор, является одной из важнейших характеристик обрабатываемой породы. В конечном итоге проницаемость породы зависит от степени открытости поровых каналов, формы и размера частиц, сложности путей фильтрации раствора через толщу рудной массы.

Физической характеристикой свойства горнорудной массы пропускать через себя жидкости является коэффициент проницаемости (K_n , выражается в

единицах дарси) и коэффициент фильтрации (K_{ϕ} , м/сутки, м/с), которые связаны между собой соотношением:

$$K_{\phi} = K_n \cdot \rho / \mu, \quad (4.1)$$

где ρ — плотность жидкости, μ — вязкость жидкости.

Исследователями установлена различная проницаемость разных горных пород, поскольку она зависит от сжимаемости, упругости, пластичности пород, способности их набухать и уменьшать поперечное сечение каналов, от температуры, сродства пород к жидкостям, минерализации фильтруемых жидкостей и многих других параметров.

Фильтрационные свойства рудных пород могут измениться в зависимости от их способности вмещать и удерживать воду — влагоемкость, отдавать воду путем свободного вытекания — водоотдача, сохранять связанность, консистенцию и прочность при взаимодействии с водой — водоустойчивость, поднимать влагу по порам при взаимодействии капиллярных сил — капиллярность, увеличивать объем — набухание, уменьшать объем при обезвоживании — усадка, уменьшать объем при замачивании — просадочность, входить в молекулярное взаимодействие с жидкостями — смачиваемость, концентрировать на своей поверхности различные вещества из фильтруемой жидкости — сорбция, прилипать к различным предметам — липкость.

Процессы кучного выщелачивания могут осложняться фазовыми превращениями в слое обрабатываемого рудного материала, среди которых следует отметить:

— плавление — способность обрабатываемых компонентов переходить в жидкое состояние, например, элементарной серы при высокотемпературной обработке рудного материала,

— газовыделение — способность обрабатываемого материала выделять газы, например, диоксид углерода при обработке карбонатсодержащих рудных материалов растворами минеральных кислот,

— кристаллизацию — способность сопутствующих компонентов образовывать кристаллические осадки гипса, кальциевых фосфатов и тому подобных соединений при обработке рудных материалов кислотами.

4.2.2. Фильтрующие свойства массива

Эффективность выщелачивания ценных компонентов различными растворителями связана с фильтрационными свойствами обрабатываемой рудной массы, с его пустотностью, проницаемостью и способностью смачиваться различными жидкостями.

На эффективность кучного выщелачивания влияют:

- гранулометрическое и микроагрегатное состояние рудного материала,
- вещественный состав и форма морфолого-минералогических ассоциаций, образующих полезное составляющее,
- химические и физические свойства полезных минералов и рудовмещающих пород,
- доступность контакта обрабатываемых минералов внутри рудовмещающих пород для контакта с применяемыми растворителями.

Практически формирование штабелей для кучного выщелачивания производят из руды, дробленной до крупности — 100-300 мм, и содержащий первичные рудные шламы:

УСТАНОВКА ФИРМЫ «рио-тинто» имеет кучи из руды 4 % по классу крупностью — 100 мм и которая содержит 25 % класса крупностью — 19 мм.

УСТАНОВКА ФИРМЫ «РАМ ДЖАНГЛ» имеет кучи из необогащенной руды, содержащей рудную мелочь в количестве 28 % и имеющей пористость 28 %.

УСТАНОВКА ФИРМЫ «РЭНЧЕРЗ ЭКСПЛОРЕЙШЕН ЭНД ДЕВЕЛОПМЕНТ КОРНОРЕЙШН» имеет кучи из руды крупностью — 300 мм, хотя большая часть руды имеет крупность — 100 мм.

УСТАНОВКА «ЗОПТЕЛЛИ ВЕСТЕРН Майнинг компиш» имеет кучи с дробленной рудой после рудника до класса — 100 мм.

УСТАНОВКА «ДЕН.Х.ТРИГГ» имеет кучу на одном участке из руды крупностью — 150 мм и на другом участке — 50 мм.

4.2.3. Механические свойства рудного материала

В промышленных условиях формируют кучи рудного материала высотой от 2 до 40 м, в толще которых возможны деформационные изменения, слеживание, кольтатация и другие побочные процессы. Создание гидравлического градиента достаточной интенсивности при выщелачивании может вызывать дополнительное взвешивание частиц и даже разрушение структуры, например песковых пород, а также перемещение разрушенной массы по направлению градиента давления. Поэтому механические свойства обрабатываемых материалов являются немаловажным фактором для процесса кучного выщелачивания горных пород:

- Прочность — способность сопротивляться разрушению под воздействием внешних сил. Она характеризуется пределами прочности при одноосном сжатии и одноосном растяжении, сопротивлением срезу, пределом прочности при изгибе, коэффициентом крепости;

- Пластичность — способность горной массы изменять форму без разрыва сплошности при силовом воздействии и сохранять эту форму при снятии действующей нагрузки, характеризуемая степенью пластичности, коэффициентом пластичности, коэффициентом уплотнения;
- Твердость — способность оказывать сопротивлению локальному воздействию, количественно характеризуемому показателем статической и динамической твердости (табл. 4.1, 4.2.);
- Вязкость разрушения — способность горной породы сопротивляться развитию в ней трещин;
- Упругость — способность горной породы восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры, характеризуемая модулем Юнга, коэффициентом Пуассона, модулем сдвига, коэффициентом всестороннего сжатия;
- Хрупкость — способность к внезапному разрушению при нагрузке без заметных пластических деформаций, характеризуемая коэффициентом хрупкости;
- Компрессионная способность — способность горной массы сжиматься при вертикальной нагрузке и невозможности бокового расширения, характеризуемая коэффициентом уплотнения, модулем осадки, модулем полной деформации, коэффициентом консолидации.

Таблица 4.1.

Плотность и твердость вмещающих пород

Минерал	Формула минерала	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
Боксит	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	2,6	1,0-3,0
Гематит	Fe_2O_3	4,9-5,5	5,0-6,5
Магнетит	Fe_3O_4	4,9-5,2	5,5-6,3
Пирит	FeS_2	4,9-5,2	6,0-6,5

Пирролюзит	MnPO_2	4,0-4,7	2,0-2,5
Корунд	Al_2O_3	3,9-4,1	9,0
Лимонит	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	3,3-4,0	5,0-5,5
Магнезит	MgCO_3	2,9-3,2	3,5-4,5
Доломит	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	2,8-2,9	3,5-4,5
Кальцит	CaCO_3	2,6-2,8	3,0
Кварц	SiO_2	2,5-2,8	7,0
Каолин	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,4-2,6	2,0-2,5
Полевые шпаты	$\text{Na}_2(\text{H}_2\text{O})_x \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	2,5-2,6	6,0-6,5

Таблица 4.2.

Плотность и твердость минералов			
Минерал	Формула	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
УРАНОВЫЕ			
Уранит	$\text{XxUO}_2\text{x}_y\text{xUO}_3\text{x}_z\text{xPbO}$	1,0-10,6	5,0-6,0
Настуран	$\text{XxU}_2\text{Ox}_y\text{xUO}_3\text{x}_z\text{xPbO}$	6,5-8,0	3,5
Браннет	окислы урана, тория и др.	4,5-5,3	4,5
Давидит	окислы урана, титана и железа	4,4	6,0
Ураноторит	$\text{UO}_2\text{xThO}_2\text{xSiO}_2\text{xCaO}$	4,3-4,9	4,5-5,0
Торбенит	$2\text{UO}_3 \cdot \text{xCuO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	4,1-4,4	2,0-2,5
Карнотит	$\text{K}_2\text{Ox}2\text{UO}_3\text{xV}_2\text{O}_5\text{x}8\text{H}_2\text{O}$	3,2-3,5	1,0-2,0
Уранофан	$\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	4,1	2,0-3,0
Отенит	$\text{CaOx}2\text{UO}_3\text{xP}_2\text{O}_5\text{x}12\text{H}_2\text{O}$	3,8-4,0	2,0
Тухолит	Органика и гидрокарбонаты урана и тория	3,9-3,2	2,0-3,0
ТАНТАЛО- НИОБИЕВЫЕ:			
Пирохлор	$\text{Na, Ca, Nb}_2\text{O}_6\text{F}$	1,5-2,0	5,0-5,5

Контрольные вопросы:

1. Специфика кучного выщелачивания минерального сырья.
2. Масштабы применения процессов кучного выщелачивания.
3. Климатические условия и условия кучного выщелачивания руды.
4. Рельеф и топография местности для размещения штабелей минерального сырья.
5. Физико-химические свойства рудного материала.

Практическое занятие № 5

Магазинирование руды.

Магазинирование руды в блоке, для дальнейшего выщелачивания, производится путем скважинной отбойки на компенсационное пространство. Для чего: из оросительного и дренажного штреков передвижным станком НКР-100м бурятся веера скважин, в последствии используемые для подачи растворов на орошение рудного магазина и сбора продуктивных растворов.

Расчет параметров скважинной отбойки производится аналогично формированию компенсационного пространства.

Определяем линию наименьшего сопротивления:

$$W = 28d * \sqrt{\frac{\delta * R_3}{q * m}}, \text{ м}$$

где d – диаметр скважин – 0,105 м

q – удельный расход ВВ

δ – плотность заряда $\approx 1 \text{ г/см}^3$

R_3 – коэффициент заполнения скважины ВВ = 0,7 (для веерных скважин)

m – коэффициент сближения скважин равный 1,6 (в зависимости от направления отбойки по отношению к основной системе трещин при порядном взрывании)

$R_{\text{расп}} = 1,2$ - коэффициент учитывающий расположение скважин при веерном расположении скважин

Отсюда:

удельный расход ВВ:

линия наименьшего сопротивления:

Определяем расстояние между концами скважин:

$$a = 1,6 \frac{m}{W}, \text{ м}$$

Количество скважин в веере:

$$N_{\text{СКВ}} = b/a + 1,$$

где b – ширина забоя – 20 м

Суммарное количество скважин:

$$\sum N = 2 * N_{\text{СКВ}} * \frac{L_6}{W}, \text{ СКВ}$$

где L_6 – длина блока (45м)

2 – обуривание производится с оросительного и дренажного горизонтов навстречу друг другу

Общий объем бурения скважин:

$$\sum L = L_{\text{СКВ}} * \sum N, \text{ м}$$

где $L_{\text{СКВ}}$ – глубина одной скважины – 30 м

Все пробуренные скважины для взрывания руды в блоке проверяются маркшейдерской и геофизической службами на соответствие проекту (проектная глубина, азимутальное и угловое отклонение, чистота). Все нисходящие скважины после бурения очищаются от воды, кусков породы и закрываются деревянными пробками.

Заряжание скважин осуществляется зарядной машиной УЗДМ-1 с производительностью зарядки 12 т/час. Отбойка руды производится массовым взрывом вееров скважин с замедлением. Конструкция заряда аналогична конструкции заряда при формировании компенсационного пространства.

Потолочина и днище камеры оформляются взрывом за счет недозарядки скважин на проектную высоту.

После проведения массового взрыва остатки вееров в потолочине и днище блока прочищаются и используются в качестве оросительных и дренажных скважин соответственно. В случае необходимости веера скважин оросительного горизонта перебуриваются.

Объем отбиваемой руды подлежащей magazинированию:

$$V_m = V_6 - V_{щ} - V_v, \text{ м}^3$$

где V_6 – объем блока – 43200 м³ (без учета целиков потолочины (7 м) и днища (5 м) блока)

$V_{щ}$ – объем отрезной щели

V_v – объем отрезного восстающего, м³

Расход ВВ на magazинирование руды:

$$Q = V_m / q, \text{ кг}$$

Расход ВВ на одну скважину

$$Q_{скв} = Q / \sum N, \text{ кг}$$

Таблица 5

Сводная таблица показателей подготовительных работ по блоку 4В-715

Наименование	Единицы измерения	показатели
1	2	3
Проходка горноподготовительных выработок: суммарный объем работ объем буровых работ: суммарный расход ВВ Проходка отрезного восстающего: объем выработки объем буровых работ Формирование компенсационного пространства: суммарный объем отбиваемой руды объем буровых работ: суммарный расход ВВ Магазинирование руды: суммарный объем отбиваемой руды объем буровых работ: суммарный расход ВВ	m^3 m $кг$ m^3 m m^3 m $кг$ m^3 m $кг$	
Итого по подготовительным работам: суммарный объем работ объем буровых работ: суммарный расход ВВ	m^3 m $кг$	