

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037444**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.03.29

(21) Номер заявки
201892519

(22) Дата подачи заявки
2016.10.21

(51) Int. Cl. **B03D 1/08** (2006.01)
B09B 1/00 (2006.01)
B03D 1/10 (2006.01)

(54) УМЕНЬШЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ПРИ ФЛОТАЦИОННОМ ОБОГАЩЕНИИ РУД

(31) **62/334,557**

(32) **2016.05.11**

(33) **US**

(43) **2019.04.30**

(86) **PCT/IB2016/056324**

(87) **WO 2017/195008 2017.11.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АНГЛО АМЕРИКАН СЕРВИСИЗ
(ЮК) ЛТД (GB)**

(72) Изобретатель:
**Филмер Энтони Оуэн (AU),
Александр Дэниел Джон (GB)**

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) BELLSON AWATEY ET AL.: "Incorporating fluidised-bed flotation into a conventional flotation flowsheet: A focus on energy implications of coarse particle recovery", POWDER TECHNOLOGY, vol. 275, 1 May 2015 (2015-05-01), pages 85-93, XP055341657, CH, ISSN: 0032-5910, DOI: 10.1016/j.powtec.2015.01.065, page 86-91; figures 2, 6

WO-A1-9947281

WO-A1-2006024886

RUNGE K.C. ET AL.: "Particle size distribution effects that should be considered when performing flotation geometallurgical testing", THE SECOND AUSIMM INTERNATIONAL GEOMETALLURGY CONFERENCE, 30 SEPTEMBER - 2 OCTOBER 2013, BRISBANE, AUSTRALIA, DOMINY, SIMON, AUSTRALIA, 1 January 2013 (2013-01-01), pages 335-344, XP009193402, ISBN: 978-1-921522-97-0, page 340

BENJAMIN E. WICKLAND ET AL.: "Hydraulic conductivity and consolidation response of mixtures of mine waste rock and tailings", CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL - REVUE CANADIENNE DE GEOTECHNIQUE, NRC RESEARCH PRESS, CANADA, vol. 47, no. 4, 1 January 2010 (2010-01-01), pages 472-485, XP009193314, ISSN: 0008-3674, DOI: 10.1139/T09-115, page 472-475

US-A-3763041

(57) В изобретении описан способ извлечения ценных металлов из руды (50), сконфигурированный таким образом, чтобы существенно снизить или исключить необходимость в хвостохранилищах. Эта цель достигается с помощью комплексной обогатительной системы, выполненной для увеличения отношения количества песчаных отходов после процесса (62) флотации крупных частиц к количеству хвостов после процесса (72) флотации мелких частиц с последующим смешиванием части материалов пустой породы после процессов флотации мелких и крупных частиц для складирования в отвал (82) с естественным водоотводом.

B1**037444****037444****B1**

Уровень техники

Хвостохранилища, остающиеся после добычи полезных ископаемых, созданные в прошлом и создаваемые сейчас, являются неприятным наследием для промышленности и для населения, проживающего на территориях, на которых осуществляется добыча и обогащение полезных ископаемых. Хвосты представляют собой смесь пылеватых частиц (<75 мкм), частиц мелкого песка (75-150 мкм) и крупного песка (>150 мкм), из которой извлечена большая часть ценного компонента руды с использованием технологий обогащения, таких как, например, флотация. Высокое содержание пылеватых частиц обуславливает низкую влажностепроводность хвостов, которая может варьироваться в широких пределах, однако обычно находится в диапазоне 10-5 см/с, т.е. естественный водоотвод отсутствует.

Тонкое измельчение руды полезных элементов (например, меди, золота, цинка/свинца, никеля, металлов группы платины и др.) необходимо для освобождения ценных компонентов руды из содержащей их пустой породы, чтобы можно было выборочно флотировать ценные компоненты в камере пенной флотации. В случае медной руды размеры частиц (p80) обычно находятся в диапазоне 100-200 мкм. Соответственно, все материалы породы, связанные с ценными компонентами руды, измельчаются до указанных размеров. Выходящие хвосты в форме шламового кека или пастообразной массы обычно накапливаются для хранения в специальных хвостохранилищах, сооружение которых требует значительных капитальных затрат.

Как показано на фиг. 1, в традиционной схеме флотации мелких частиц руду 10, извлеченную из шахты на стадии 1 выполнения взрывных работ и грубого дробления, измельчают на стадии 14 и сортируют на стадии 16, обычно с использованием замкнутого цикла, в котором верхний материал 18 возвращается после сортировки для дополнительного измельчения, чтобы получить частицы, размеры которых подходят для флотации. Отсортированные частицы руды подвергают флотации мелких частиц на стадии 20 для получения концентрата 22. Хвосты 24, выходящие после флотации на стадии 20, сгущают в загустителе 26 и направляют на хранение в хвостохранилище 28.

Для исключения или минимизации количества хвостов, подлежащих хранению в хвостохранилищах, предлагались различные технические решения.

В некоторых системах утилизации хвостов наиболее крупные частицы, преимущественно мелкий песок, отделяют в центробежном сепараторе, и часть хвостов (обычно 5-30% всей массы руды в зависимости от размера частиц, требуемого для флотации) укладывается в отвал и дренируется. Это умеренное уменьшение количества хвостов ограничивается необходимостью обеспечения песка с естественным водоотводом для направления на хранение. Например, в тех случаях, когда этот песок используется в качестве несущей стенки хвостохранилища, требуется, чтобы в нем содержалось менее 15% пылеватых частиц. Остающиеся хвосты все-таки необходимо хранить в больших специально построенных хранилищах.

В регионах, в которых размещение хвостохранилищ представляет особые проблемы, и недостаточно воды, все больше используется фильтрация сбрасываемой пульпы и укладка в отвалы плотного шлама, содержащего примерно 15-20% воды. Однако фильтрация представляет собой дорогостоящую операцию в связи с низкой производительностью фильтрации из-за низкой влажностепроводности хвостов, обычно содержащих примерно 50% пылеватых частиц. Отфильтрованные отходы (твердый остаток) отличаются низкой конструктивной целостностью и по-прежнему характеризуются формированием глинистой массы и эрозией в периоды дождей, а также сильным пылением в случае внешнего воздействия.

Предлагались различные технические решения по смешиванию некоторой части хвостов с пустой породой, выгружаемой из шахты. Хвосты, содержащие очень мелкие частицы, снижают проницаемость пустой породы и, соответственно, ее склонность к кислотообразованию. Однако в этом случае не обеспечивается извлечение из хвостов существенных количеств воды, и такие решения не нашли широкого применения в отрасли.

Причины связаны с несоответствием количеств хвостов и пустой породы в разные периоды эксплуатации шахты, а также с трудностью эффективного распределения пульпы, содержащей мелкие частицы, среди фрагментов пустой породы в соответствующих пропорциях. В последние годы был предложен способ, представляющий собой альтернативу традиционной флотации мелких частиц (G.J. Jamieson, Aus. I.M.M. G.D. Delprat Distinguished Lecture Series, Sydney, 2013). Эта модификация, описанная ниже и указываемая как флотация крупных частиц, была предложена в качестве способа, позволяющего снизить энергетические затраты, связанные с тонким измельчением руд.

Как показано на фиг. 2, в процессе флотации крупных частиц руду 30, извлеченную из шахты на стадии 32 выполнения взрывных работ и грубого дробления, измельчают на стадии 34 для получения более крупных частиц по сравнению с традиционным процессом флотации мелких частиц, так что ценные минералы частично раскрываются, но полностью не высвобождаются. В предпочтительных вариантах размеры крупных частиц, подаваемых на стадию флотации, находятся в диапазоне от 150 мкм до 1 мм. Максимальный размер частиц ограничивается конструкцией флотационного оборудования или размерами частиц, при которых значительная часть ценного компонента зерен руды не раскрыта на поверхности большинства частиц породы. Для медных или золотосодержащих руд, ценные компоненты раскрываются в достаточной степени при размерах частиц, не превышающих примерно 300-400 мкм.

Минимальный размер частиц для флотации крупных частиц определяется сравнительно неэффективным отделением мелких частиц в оборудовании для флотации крупных частиц. Например, для предлагаемой на рынке камеры Eriez Hydrofloat минимальный размер частиц обычно составляет примерно 150 мкм, а частицы меньших размеров будут просто увлекаться восходящим потоком воды.

Измельченную руду сортируют в первом сортировочном устройстве 36, обычно в замкнутом цикле, в котором верхний материал 38 возвращается после сортировки на дополнительное измельчение. Отсортированную руду сортируют далее во втором сортировочном устройстве 38. Фракцию руды, содержащую частицы, размеры которых находятся в выбранном рабочем диапазоне для флотации крупных частиц (скажем, 150-700 мкм), отделяют от остальной части более мелких и более крупных частиц руды, извлеченной из шахты, и подвергают флотации в специальной камере 40 для крупных частиц, для получения промежуточного концентрата. Верхний материал после сортировки возвращают для дополнительного измельчения, и материал, содержащий более мелкие частицы после предварительной сортировки (обычно мелкозернистый песок и пылеватые частицы размерами <150 мкм, составляющие 50% или более всего материала, извлеченного из шахты), направляют в традиционную установку 42 флотации мелких частиц. Промежуточный концентрат, получаемый в результате флотации крупных частиц, обычно 5-20% подаваемого материала, размалывают на стадии 44 до размеров, при которых ценная фракция руды высвобождается и может быть использована для получения коммерческого концентрата. Его направляют для дальнейшего обогащения с использованием установки 42 традиционной флотации вместе с тонкой фракцией на выходе сортировочного устройства. Этот традиционный процесс флотации мелких частиц обеспечивает на выходе окончательный концентрат 45 и хвост, содержащий мелкие частицы. Затем хвосты с выхода процессов флотации крупных и мелких частиц соединяют, сгущают в загустителе 46 и направляют в хвостохранилище 48.

В качестве примера такой камеры флотации крупных частиц можно указать камеру Hydrofloat производства компании Eriez (патент US № 6425485 B1, 2002). Возможности применения этой камеры для обработки медных, золотосодержащих и других сульфидных руд описаны в многочисленных статьях и в публикациях конференций (например, J. Concha, E. Wasmund <http://docplayer.es/10992550-Flotacion-de-finios-y-gruesos-aplicada-a-la-recuperacion-de-minerales-de-cobre.html>). Существуют также и другие конструкции камер флотации крупных частиц, и другие соответствующие способы были предложены для отделения частично раскрытых крупных частиц от содержащей их породы путем выборочного прикрепления реагента-собирающего и флотации. Для упрощения изложения все эти альтернативные технологии разделения будут указываться как "флотация крупных частиц".

Целью изобретения является создание комплексной обогатительной системы, в которой используется флотация крупных частиц для исключения или снижения необходимости в хвостохранилищах.

Сущность изобретения

В изобретении предлагается комплексный способ извлечения ценных металлов из руды, сконфигурированный таким образом, чтобы существенно снизить или исключить необходимость в хвостохранилищах, причем способ включает:

- а) измельчение руды в измельчающем устройстве;
- б) сортировку измельченной руды в сортировочном устройстве для получения отсортированной фракции, пригодной для рециркуляции для дополнительного измельчения, отсортированной фракции, пригодной для флотации крупных частиц и отсортированной фракции, пригодной для флотации мелких частиц;
- в) осуществление процесса флотации крупных частиц в отношении фракции, пригодной для флотации крупных частиц, для получения промежуточного концентрата и отходов (твердого остатка) в форме крупнозернистого песка;
- г) обезвоживание отходов в форме крупнозернистого песка для получения обезвоженных отходов крупных частиц;
- д) измельчение материала, содержащего частицы увеличенных размеров, в промежуточном концентрате до размеров, пригодных для флотации мелких частиц;
- е) осуществление процесса флотации мелких частиц в отношении фракций, пригодных для флотации мелких частиц, и получение хвостов, содержащих мелкие частицы;
- ж) сгущение хвостов, содержащих мелкие частицы, для получения сгущенных хвостов, содержащих мелкие частицы; и
- з) смешивание обезвоженных отходов, содержащих крупные частицы, со сгущенными хвостами, содержащими мелкие частицы, для получения смеси, содержащей от 10 до 30 мас.% сгущенных хвостов, содержащих мелкие частицы (пылеватые частицы, представляющие собой очень мелкие частицы хвостов размерами, не превышающими 75 мкм в диаметре), и от 70 до 90 мас.% обезвоженных отходов, содержащих крупные частицы с размерами, превышающими 75 мкм, и сухое складирование смеси для формирования устойчивого отвала с естественным водоотводом. Обычно отношение массы крупнозернистого песка к массе хвостов, содержащих мелкие частицы, в смеси находится в диапазоне от 0,5:0,5 до 0,7:0,3 (от 0,5 до 0,7 крупнозернистого песка от 0,5 до 0,3 хвостов, содержащих мелкие частицы), предпочтительно 0,6:0,4.

Предпочтительно измельчение руды на стадии а) осуществляют в замкнутом цикле с сортировкой, так чтобы минимизировать количество материала с размерами частиц в диапазоне размеров, подходящих для процессов флотации крупных или мелких частиц, направляемого на дополнительное измельчение, и, соответственно, предотвращать возникновение чрезмерного количества пылеватых частиц (материал с размерами частиц, не превышающими 75 мкм в диаметре). В то время как цикл измельчения может работать при величине r_{80} , существенно большей, чем требуемый верхний предел размеров для флотации крупных частиц, частицы больших размеров, диаметр которых превышает, например, примерно 500 мкм, для которых ценные минералы конкретной руды раскрываются на поверхности в недостаточной степени, отсортировываются и рециркулируются для дополнительного измельчения. Хотя предпочтительное измельчительное устройство будет иметь модуль Шумана, при котором минимизируется количество мелких частиц, как это указано в докладе, сделанном Runge и др. на конференции Second Aus. I.M.M. Geometallurgy, 2013, однако концепция отсеивания частиц нижней фракции из рециркулируемого материала для флотации крупных частиц применима ко всем известным измельчительным устройствам. Хотя предпочтительное сортировочное устройство будет иметь крутую кривую разделения (крутизна этой кривой лучше всего определяется величиной α , превышающей 3, предпочтительно превышающей 5 для кривой эффективности сортировки, как это указано в публикации Napier Munn и др., "Mineral Comminution Circuits" (монография JKMCRC), 1996, например ситового или гидравлического сортировочного устройства), для минимизации направления материала, частицы которого меньше требуемого размера сортировки, обратно на измельчение, однако концепция применима ко всем известным сортировочным устройствам.

Предпочтительно содержание пылеватых частиц (частиц с диаметром, не превышающим 75 мкм), образующихся при измельчении на стадии а), не превышает 25 мас.% руды, более предпочтительно не превышает 20 мас.% и еще более предпочтительно не превышает 15 мас.%, и руду для процесса флотации крупных частиц измельчают до размера частиц, необходимого для раскрытия/выхода по меньшей мере 85% и предпочтительно более 90% ценных минералов перерабатываемой руды, например руда должна быть измельчена и отсортирована для формирования частиц в диапазоне размеров 150-1000 мкм, обычно 200-800 мкм и предпочтительно 200-500 мкм.

Предпочтительно частицы нижней фракции после первой сортировки отделяют во втором сортировочном устройстве в форме фракции мелких частиц, размеры которых обычно не превышают (менее) 150 мкм, которую затем подвергают либо измельчению на стадии д) или направляют непосредственно на стадию е) флотации мелких частиц, в зависимости от предпочтительного размера для флотации мелких частиц определенной руды.

Отсортированную фракцию, содержащую частицы с размерами в диапазоне от минимальной величины порядка примерно 150 мкм до максимальной величины порядка примерно 700 мкм, подвергают флотации крупных частиц на стадии в). На этой стадии масса получаемого промежуточного концентрата не превышает 25 мас.% материала, подаваемого на флотацию крупных частиц, предпочтительно менее 20% и еще более предпочтительно менее 15%.

Промежуточный концентрат со стадии в) направляют на измельчение и сортировку на стадии д) для получения оптимального распределения размеров частиц в диапазоне 20-125 мкм для стадии е) флотации мелких частиц, снова без формирования чрезмерного количества пылеватых частиц, а именно, масса образующихся пылеватых частиц ограничивается 50% массы материала, подаваемого на повторное измельчение, предпочтительно меньше 40% и еще более предпочтительно менее 30%.

В соответствии со способом, предлагаемым в настоящем изобретении: измельчительные и сортировочные устройства выбирают и их работу осуществляют таким образом, чтобы минимизировать образование пылеватых частиц в процессе измельчения. Это достигается путем выбора измельчительного устройства с приемлемой величиной модуля Шумана, осуществлением работы этого устройства в замкнутом цикле вместе с сортировочным устройством, имеющим крутую кривую разделения с величиной альфа (Napier Munn и др., 1996), превышающей 5, а также поддержанием r_{80} материала на выходе измельчительного устройства на более высоком уровне по сравнению с верхним предельным размером для процесса флотации крупных частиц, так что более 50% потока с выхода измельчительного устройства рециркулируется для дополнительного измельчения.

Измельчительные и сортировочные устройства выбирают и их работу осуществляют таким образом, чтобы максимизировать выведение высвобожденной пустой породы в качестве отходов в форме крупнозернистого песка. Это достигается путем выбора верхнего и нижнего предельных размеров для сортировки таким образом, чтобы частицы пустой породы высвобождались из руды, содержащей ценные минералы, в частности на уровне, при котором в процессе флотации крупных частиц выборочно всплывают частицы с открытой поверхностью минералов (обычно от 150 мкм до 1,0 мм), в то время как частицы пустой породы без открытой поверхности минералов уходят в отходы флотации крупных частиц.

В первом варианте осуществления изобретения

отходы процесса флотации крупных частиц на стадии в) в форме песка имеют влажноводность, превышающую 1 см/с, предпочтительно более 0,1 см/с, более предпочтительно более 0,01 см/с, и дренируются с интенсивностью, которая обеспечивает возможность гидравлической транспортировки отходов в отвалы

с последующим дренированием, или быстрого обезвоживания с использованием сит или фильтров на стадии г), и предпочтительно содержат более 60% пустой породы, содержащейся в добытой руде;

отходы в форме песка обезвоживают, а именно, содержание воды снижают до 8-12 вес.%, обычно примерно до 10 вес.%;

хвосты процесса флотации мелких частиц на стадии д) частично обезвоживают, а именно, содержание воды снижают до 35-45 вес.%, обычно примерно до 40 вес.%, на стадии ж) для формирования пульпы или пастообразной массы; и

хвосты в форме пульпы или пастообразной массы смешивают на стадии з) с обезвоженными отходами в форме крупнозернистого песка для получения смеси.

Во втором варианте осуществления изобретения

верхний размер сортировки на стадии б) увеличивают для оптимизации выхода флотации крупных частиц на стадии в), а именно, путем увеличения размера до максимума, при котором крупные частицы с открытой поверхностью минералов всплывают, обычно до максимального размера в диапазоне 0,7-1,5 мм;

отходы флотации крупных частиц со стадии в) дополнительно сортируют для отделения промежуточной фракции, содержащей более крупные частицы, которые еще содержат достаточное количество скрытых ценных минералов, а именно, больше размера, при котором большая часть минерального материала имеет открытую поверхность, и отходов с более мелкими зернами песка, обычно с размерами в диапазоне 150-600 мкм, которые пригодны для вывода на хранение, как в первом варианте; и

промежуточная фракция с уменьшенным содержанием ценных минералов может быть снова измельчена или отправлена на хранение для последующего повторного обогащения на протяжении срока службы шахты, в результате чего обеспечивается возможность повышения производительности обогащения добытой руды с более высоким содержанием ценных минералов с помощью установленного измельчительного оборудования.

В третьем варианте осуществления изобретения отходы процессов флотации крупных и мелких частиц могут быть снова соединены для обеспечения возможности транспортировки полученной пульпы в подходящее место назначения. Затем поток смеси может быть обезвожен путем фильтрации, при которой наличие крупных частиц способствует повышению скорости фильтрации, или предпочтительно осуществляют повторную сортировку для получения фракций крупных и мелких частиц, которые обрабатывают, как это описано в первом варианте.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 - блок-схема традиционной системы флотации мелких частиц;

на фиг. 2 - блок-схема системы флотации крупных частиц;

на фиг. 3 - блок-схема системы флотации крупных частиц по первому варианту осуществления изобретения;

на фиг. 4 - блок-схема системы флотации крупных частиц по второму варианту осуществления изобретения;

на фиг. 5 - блок-схема системы флотации крупных частиц по третьему варианту осуществления изобретения.

Подробное описание осуществления изобретения

В изобретении предлагается способ, обеспечивающий исключение или существенное снижение части руды, извлеченной из шахты, которая должна быть помещена в специально построенное хвостохранилище.

Эта и другие цели изобретения достигаются с помощью комплексной обогатительной системы, выполненной для увеличения отношения количества песчаных отходов после флотации крупных частиц к количеству хвостов после флотации мелких частиц, с последующим обеспечением размещения всех или части смешанных материалов пустой породы после процессов флотации мелких и крупных частиц в один отвал с естественным водоотводом. С использованием этой новой системы может быть исключена или, по меньшей мере, существенно снижена потребность в специально построенных хвостохранилищах.

Комплексная система по настоящему изобретению выполняет функции измельчения, сортировки, флотации крупных частиц, флотации мелких частиц, дренирования отходов, смешивания и сухого складирования. Эффективное регулирование образования мелких частиц, и особенно пылеватых частиц, на всех стадиях измельчения обеспечивает превращение большей части добываемой руды в частицы в диапазоне размеров, необходимых для флотации крупных частиц. В этом случае обеспечивается высокий выход ценного компонента руды в процессах флотации и вывод большей части пустой породы в форме крупных частиц песка. Эти отходы с естественным водоотводом могут быть смешаны со сгущенной пульпой, содержащей мелкие частицы хвостов, для получения составного материала, содержание пылевых частиц в котором еще обеспечивает дренирование, и, соответственно, этот материал пригоден для складирования в отвалах.

Как показано на фиг. 3, в способе по первому варианту осуществления изобретения руду 50, добытую на стадии 52 взрывных работ и грубого дробления, измельчают на стадии 54 для раскрытия ценных компонентов для флотации крупных частиц. Последовательно используются две стадии сортировки: первая стадия 56 сортировки и вторая стадия 58 сортировки, для возврата частиц руды, размеры которых

слишком велики для флотации крупных частиц, для дополнительного измельчения, и для отделения мелких частиц для обхода стадии флотации крупных частиц и направления их непосредственно на стадию флотации мелких частиц. Верхний материал 60 возвращают обратно с выхода первой стадии 56 сортировки. Частицы руды, размеры которых находятся в требуемом рабочем диапазоне размеров, подвергаются на стадии 62 флотации крупных частиц для получения промежуточного концентрата 64 и отходов 66 в форме крупнозернистого песка, содержащего большей частью пустую породу. Промежуточный концентрат 64, получаемый на стадии 62 флотации крупных частиц, повторно измельчают на стадии 68 и вместе с мелкими частицами 70 после первоначальной сортировки подают на стадию 72 флотации мелких частиц для получения концентрата 74. Песчаные отходы 66 после стадии 62 флотации крупных частиц дренируют на стадии 76 для извлечения содержащейся воды 78, которую рециркулируют, и хвосты 80 после стадии флотации мелких частиц сгущают для снижения содержания воды. Затем крупные частицы песка и сгущенные хвосты смешивают и укладывают в отвал на стадии 82. Основным моментом для получения на стадии 82 хвостов, пригодных для складирования в отвал, является количество мелких частиц, содержащихся в смеси, и особенно количество пылеватых частиц (с размерами, не превышающими 75 мкм в диаметре). Эти мельчайшие пылеватые частицы существенно ухудшают характеристики дренирования материала в отвале. Учитывая то, что руды могут немного различаться, можно считать, что отвалы крупнозернистого песка могут быть устойчивыми при содержании пылеватых частиц, не превышающем примерно 25%. Если содержание пылеватых частиц превышает примерно 25%, влагопроводность отвала существенно снижается, так что хранение такого материала без ограждений становится весьма проблематичным в регионах с влажным климатом, в регионах с сейсмической активностью, на склонах или в тех случаях, когда отвал должен сохранять свою структурную целостность.

Первый компонент комплексной системы, являющейся объектом настоящего изобретения, обеспечивает процессы измельчения и сортировки (как первичное, так и повторное измельчение). Процесс первичного измельчения должен быть сконфигурирован таким образом, чтобы содержание пылеватых частиц в измельченной руде не превышало 20%, предпочтительно не превышало 15%, и чтобы в материал, подаваемый на стадию флотации крупных частиц, был измельчен таким образом, чтобы открывалось по меньшей мере 85% и предпочтительно более 90% ценных компонентов в обогащаемой руде. При использовании известных измельчителей с высокой величиной модуля Шумана, таких как дробилки третьей степени дробления и стержневые барабанные мельницы, или с несколько меньшей величиной модуля (валковые прессы высокого давления, полуавтогенные измельчители и шаровые мельницы) в замкнутом цикле с известными сортировочными установками, имеющими кривую разделения с острым пиком (такими как сита Derrick или DSM или различные гидравлические сортировочные устройства), или не такими эффективными сортировочными устройствами, например гидроциклонами, измельчаемая руда в выбранном рабочем диапазоне размеров частиц может быть "отсеяна" для флотации крупных частиц. Для достижения этой цели оборудование, его конфигурация и рециркуляционные потоки специально выбираются таким образом, чтобы избежать образования мелких частиц при измельчении, а также избежать направления измельченного материала, размеры частиц которого уже находятся в выбранном диапазоне, обратно на повторное измельчение. Размер для сортировки устанавливается таким образом, чтобы максимизировать отсеивание материала, возвращенного на повторное измельчение, для достижения приемлемого извлечения ценного компонента в процессе флотации крупных частиц. Для медных руд верхний размер частиц обычно находится в диапазоне 350-600 мкм. Идея разработанной системы заключается в предотвращении образования мелких и мельчайших частиц при измельчении и, соответственно, в максимальном выведении материала, размеры частиц которых меньше вышеуказанного диапазона из цикла измельчения, для предотвращения возможности чрезмерного измельчения, в результате которого образуются пылеватые частицы. Эта идея хорошо определяет выбор устройств измельчения и сортировки. Например, хорошо известно, что стержневая барабанная мельница обеспечивает более узкую кривую распределения размеров по сравнению с шаровой дробилкой. А использование традиционного циклонного сепаратора для сортировки обеспечивает худшую кривую разделения по сравнению с ситами или сортировочными грохотами.

Второй компонент системы обеспечивает сортировку материала, размеры частиц которого меньше размеров частиц, подходящих для флотации крупных частиц. Эффективность отделения мелких частиц в процессе флотации крупных частиц является ограниченной по сравнению с традиционной флотацией мелких частиц. Если для выбранного оборудования флотации крупных частиц не требуется удаление мелких частиц, то этот компонент становится необязательным, и материал, содержащий мелкие частицы, всплывает вместе с открытыми минералами.

Третий компонент системы обеспечивает флотацию крупных частиц с последующим обезвоживанием отходов этой флотации. Массовый выход промежуточного концентрата со стадии флотации крупных частиц можно регулировать для обеспечения приемлемых характеристик обогащения руды. Обычно массовый выход концентрата составляет 5-30% от подаваемого материала, и предпочтительно примерно 10-20%. Отходы в форме крупнозернистого песка на выходе флотации крупных частиц (примерно 50-60% от добываемой руды) содержат большую часть удаляемых сульфидов, характеризуются высокой влагопроводностью и могут быть легко просеяны для выведения содержащейся воды, или же вода может

быть выведена в результате естественного стока. Выведенная вода по существу не содержит шлама и без проблем может быть рециркулирована. После этого дренированный крупнозернистый песок обычно содержит воду в количестве примерно 10 вес.%.

Четвертый компонент системы обеспечивает дополнительное измельчение промежуточного концентрата для более полного высвобождения ценных компонентов. Его смешивают с потоком нижнего материала со стадии предыдущей сортировки и осуществляют флотацию для получения коммерческого концентрата. Или же в случае золота осуществляют выщелачивание для извлечения открытого золота. Окончательные хвосты этой дополнительной флотации представляют собой примерно 40-50% всей массы добытой руды, причем обычно примерно половину всего потока удаляемого материала этой флотации составляет фракция пылеватых частиц размерами менее 75 мкм. Таким образом, весь материал, содержащий частицы размерами менее 75 мкм, обычно составляет примерно 20-25% от массы исходной добытой руды. Пятый компонент системы обеспечивает максимально возможное выведение воды из хвостов флотации мелких частиц. Эта операция обычно осуществляется в загустителе, обеспечивающем получение сгущенных хвостов или пастообразной массы, однако хвосты, содержащие мелкие частицы, также могут быть профильтрованы для извлечения дополнительной воды.

Шестой компонент системы обеспечивает смешивание сгущенной пульпы или пастообразной массы частично или полностью с дренированными отходами в форме крупнозернистого песка. Требуемое соотношение компонентов в смеси будет ограничиваться инженерно-геологическими требованиями к отвалам хвостов. Соответствие этим требованиям будет во многом определяться количеством пылеватых частиц, которое определяется конструкцией и работой других частей системы. Для устойчивости песчаного отвала, получаемого из пустой породы, необходимо, чтобы содержание пылеватых частиц не превышало примерно 25%, в то время как для применений, в которых требуется более высокая несущая способность, например в конструкциях плотин, содержание пылеватых частиц предпочтительно не должно превышать 15%. При содержании пылеватых частиц, превышающем 25%, возникает необходимость в уплотнении и использовании опор. Содержание воды в этих объединенных остатках обычно составляет примерно 20 вес.%.

В том случае, если система измельчения и сортировки для конкретного месторождения не обеспечивает возможность получения смеси с приемлемыми инженерно-геологическими характеристиками для хранения в отвалах, часть мелких частиц необходимо будет направлять в хвостохранилище. Или же в случае, когда имеется вариант малозатратного хранения фракции мелких частиц в обычном хвостохранилище, соотношение компонентов в смеси может быть изменено соответствующим образом.

Эта смесь может транспортироваться грузовиками или конвейером и укладываться таким образом, чтобы обеспечивалось длительное хранение.

Короче говоря, предлагаемая система измельчения, сортировки, флотации крупных и мелких частиц, дренирования, сгущения и смешивания обеспечивает значительно более низкие затраты на единицу продукции при обогащении бедных руд. Это является следствием существенно более низких расходов на измельчение (получение более крупных частиц), пониженного расхода воды и сниженных требований к емкости специально построенных хвостохранилищ. Эта структура со сниженными затратами на единицу продукции может сделать экономически целесообразной добычу более бедных руд, в результате чего повышается экономическая эффективность разработки рудных месторождений и существенно увеличиваются сроки службы шахт, причем она применима в тех случаях, когда хранение хвостов в форме пульпы особенно проблематично, а также когда необходим способ более продолжительного хранения отходов ввиду перспективы более продолжительного срока работы шахты.

На фиг. 4 приведена блок-схема второго варианта осуществления изобретения, в котором обеспечивается хранение низкосортного сырья. Как показано на фиг. 4, руду 50, добытую на стадии 52 взрывных работ и грубого дробления, измельчают на стадии 54 для раскрытия ценных компонентов для процесса флотации крупных частиц. Последовательно используются две стадии сортировки: первая стадия 56 сортировки и вторая стадия 58 сортировки для возврата частиц руды, размеры которых слишком велики для флотации крупных частиц, для дополнительного измельчения, и для отделения мелких частиц для обхода стадии флотации крупных частиц и направления их непосредственно на стадию флотации мелких частиц. Верхний материал 60 возвращают обратно с выхода первой стадии 56 сортировки. Частицы руды, размеры которых находятся в требуемом рабочем диапазоне, подвергаются флотации крупных частиц на стадии 62 для получения промежуточного концентрата 64 и отходов 66 в форме крупнозернистого песка, содержащих большей частью пустую породу. Промежуточный концентрат 64, получаемый на стадии 62 флотации крупных частиц, повторно измельчают на стадии 68 и вместе с мелкими частицами 70 после первоначальной сортировки подают на стадию 72 флотации мелких частиц для получения концентрата 74.

В этом втором варианте осуществления изобретения максимальный предельный размер для рабочего диапазона размеров для процесса флотации крупных частиц на стадии 62 задан на более высоком уровне. Этот максимальный предельный размер может находиться в диапазоне 500-1500 мкм и зависит от характеристик раскрытия конкретной руды и от характеристик оборудования для флотации крупных частиц. Рабочий диапазон увеличенных размеров частиц приводит к увеличению отсеивания материала, выводимого после каждого прохода материала между процессами измельчения и сортировки. Таким об-

разом, уменьшается цикл материала 60 слегка выше идеального диапазона размеров для флотации крупных частиц, и, соответственно, снижается доля пылеватых частиц, формируемых в этом цикле первоначального измельчения.

В такой конфигурации допускается, что значительная часть ценных компонентов, содержащихся в наиболее крупных частицах руды, направляемых на флотацию крупных частиц, будет закрыта породой, и, соответственно, не будет открываться соответствующая поверхность для прикрепления пузырьков в процессе флотации. Поэтому извлечение ценных элементов будет ограничиваться лишь зернами с открытой поверхностью элементов, и, соответственно, полезный выход флотации крупных частиц будет ниже по сравнению с флотацией более мелких частиц. Однако большая часть скрытых ценных компонентов руды, остающиеся в отходах 66 флотации крупных частиц, будут содержаться в наиболее крупных частицах, и они могут быть выделены из этих отходов с помощью стандартных сортировочных устройств. Хотя эта фракция наиболее крупных частиц содержит меньше ценного минерала по сравнению с исходной добытой рудой в результате естественного отделения при измельчении и частичного отбора ценного минерала в процессе флотации крупных частиц, однако все-таки стоит дополнительно измельчить для извлечения этого минерала. Фракция наиболее крупных частиц может быть отделена от отходов флотации крупных частиц с использованием хорошо известного оборудования 84 сортировки по размерам, и эта фракция может быть дренирована и направлена на хранение в качестве промежуточного продукта 86, который может быть переработан в подходящее время с использованием повторного измельчения или выщелачивания отвала. После этого фракция более мелких частиц с выхода этой сортировки после флотации (обычно от 150 до 600 мкм в зависимости от характеристик высвобождения из руды ценного минерала) формирует конечные отходы 88 флотации крупных частиц, которые дренируются на стадии 76 для извлечения содержащейся в них воды, которую рециркулируют, и хвосты 80 флотации мелких частиц сгущают для уменьшения содержащейся в них воды. Затем крупные частицы песка и хвосты, содержащие мелкие частицы, смешивают и укладывают в отвал на стадии 82. Достоинство такой конфигурации заключается в том, что дополнительная добытая руда более с более высоким содержанием ценного минерала может заменить более бедный промежуточный продукт в пределах имеющейся производительности измельчительного оборудования, в результате чего повышается производительность шахты. В перспективе промежуточный продукт может быть извлечен из хранилища и переработан позднее в течение срока службы шахты, и поэтому его не стерилизуют. В других вариантах промежуточный продукт может быть подвергнут выщелачиванию в отвале. В этом смысле рассматриваемый вариант сходен со способом обогащения, который используется для грубо измельченной руды.

Третий вариант осуществления изобретения представлен на фиг. 5. Этот вариант обычно используется, когда транспортировка пульпы, содержащей остатки и хвосты, к месту хранения представляет особую важность. Как показано на фиг. 5, руду 50, добытую на стадии 52 взрывных работ и грубого дробления, измельчают на стадии 54 для раскрытия ценных минералов для процесса флотации крупных частиц. Последовательно используются две стадии сортировки: первая стадия 56 сортировки и вторая стадия 58 сортировки, для возврата частиц руды, размеры которых слишком велики для флотации крупных частиц, для дополнительного измельчения, и для отделения мелких частиц для обхода стадии флотации крупных частиц и направления их непосредственно на стадию флотации мелких частиц. Верхний материал 60 возвращают обратно с выхода первой стадии 56 сортировки. Частицы руды, размеры которых находятся в требуемом рабочем диапазоне, подвергаются флотации крупных частиц на стадии 62 для получения промежуточного концентрата 64 и отходов 66 в форме крупнозернистого песка, содержащих большей частью пустую породу. Промежуточный концентрат 64, получаемый на стадии 62 флотации крупных частиц, повторно измельчают на стадии 68 и вместе с мелкими частицами 70 после первоначальной сортировки подают на стадию 72 флотации мелких частиц для получения концентрата 74. Система аналогична системе по первому варианту, за исключением того что отходы процессов флотации крупных и мелких частиц, т.е. остатки 66 флотации крупных частиц и хвосты 90 флотации мелких частиц, соединяют для транспортировки в форме пульпы, содержащей смесь, к месту хранения. Здесь они могут быть отфильтрованы, или преимущественно фракция крупных частиц (>150 мкм) может быть отделена с помощью циклонного сепаратора или иного устройства 92 сортировки и дренирована на стадии 94 для воспроизведения преимущественно исходного состава остатков в форме крупнозернистого песка с естественным водоотводом. Вода 96, отводимая в результате дренирования на стадии 94, может быть рециркулирована. Материал, содержащий мелкие частицы, в верхнем продукте циклонного сепаратора воспроизводит хвосты флотации мелких частиц и может быть снова переработан, как это уже описывалось. Сгущенные мелкие частицы 98 смешивают с дренированным материалом 100, содержащим крупные частицы, и подсушенный материал укладывают в отвал на стадии 102.

Резюмируя, можно сказать, что за счет выбора подходящего оборудования для измельчения и сортировки, задания подходящих условий работы, использования флотации крупных частиц, дренирования остатков, содержащих крупные частицы, и смешивания их с загущенными хвостами флотации мелких частиц в комплексной производственной системе настоящее изобретение может

обеспечивать высокую степень обогащения руды при сниженном потреблении энергии;

обеспечивать извлечение из отходов существенной части воды; и

исключать или во многом снижать требования к использованию хвостохранилищ.

Для некоторых месторождений могут обеспечиваться и другие преимущества. Ввиду сокращения затрат на единицу продукции комплексная система также обеспечивает возможность снижения рентабельного минимального содержания ценного минерала в руде и, соответственно, повышает возмещение использованных ресурсов. Комплексная система также потенциально улучшает капиталоемкость всего цикла измельчения и сортировки.

Пример

Частично измельченная руда, добытая в чилийской шахте, из нижнего продукта циклонного сепаратора в существующем цикле измельчения. Она была использована для тестирования процесса флотации крупных частиц и сухого складирования в отвал. Извлечение меди соответствовало степени раскрытия соединений меди на поверхности частиц. Выход меди превышал 90% для размеров частиц порядка 350 мкм и падал ниже 70% для размеров частиц порядка 500 мкм. Общий массовый выход составлял 20%. Таким образом, высокий выход в процессе флотации крупных частиц может быть достигнут, когда материал добытой руды будет отсортирован до максимального размера частиц примерно 450 мкм. Содержание серы в отходах составляло 0,3%, причем на поверхности частиц не наблюдалось проявлений сульфидов.

Водоотведение из отходов, содержащие крупные частицы, осуществлялось естественным образом до содержания воды порядка 10%. Содержание воды в сгущенных отходах, содержащих мелкие частицы, составляло 40%. При смешивании отходов, содержащих крупные и мелкие частицы, в соотношении 0,6:0,4 получаемый материал обладал достаточной структурной целостностью для его хранения в отвалах.

Моделирование цикла измельчения (измельчитель с частичным самоизмельчением и шаровая мельница) показывает, что при использовании устройства сортировки с крутой кривой разделения (сортировка на ситах или гидравлический сортировщик) доля пылеватых частиц в смеси отходов будет составлять существенно меньше 30% добытой руды. Использование измельчительного устройства с меньшим формированием мелких частиц (например, коническая дробилка, или стержневая мельница, или сортировальная машина, или роторная дробилка с вертикальным валом) дополнительно снижает содержание пылеватых частиц.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комплексный способ извлечения ценных металлов из руд, содержащих ценные металлы, включающий:

- а) измельчение руды в измельчающем устройстве;
- б) сортировку измельченной руды в сортировочном устройстве для получения отсортированной фракции, пригодной для дополнительного измельчения, отсортированной фракции, пригодной для флотации крупных частиц с размерами частиц диапазоне от 150 до 1000 мкм, и отсортированной фракции, пригодной для флотации мелких частиц с размерами частиц, не превышающими 150 мкм;
- в) осуществление флотации крупных частиц в отношении фракции, пригодной для флотации крупных частиц, для получения промежуточного концентрата и отходов в форме крупнозернистого песка с размерами частиц в диапазоне от 150 до 1000 мкм;
- г) обезвоживание отходов в форме крупнозернистого песка со стадии в) для получения обезвоженных отходов, содержащих крупные частицы;
- д) измельчение промежуточного концентрата со стадии в) до размеров, пригодных для флотации мелких частиц;
- е) осуществление флотации мелких частиц в отношении фракций, пригодных для флотации мелких частиц, со стадий б) и д), и получение хвостов, содержащих мелкие частицы;
- ж) сгущение хвостов, содержащих мелкие частицы, для получения сгущенных хвостов, содержащих мелкие частицы; и
- з) смешивание обезвоженных отходов, содержащих крупные частицы, со стадий г), со сгущенными хвостами, содержащими мелкие частицы, для получения смеси, в которой отношение массы отходов, содержащих крупные частицы, к массе хвостов, содержащих мелкие частицы, находится в диапазоне от 0,5:0,5 до 0,7:0,3, и сухое складирование смеси для формирования отвала.

2. Способ по п.1, в котором смесь содержит от 10 до 30 мас.% сгущенных хвостов, содержащих мелкие частицы, и от 70 до 90 мас.% обезвоженных отходов, содержащих крупные частицы.

3. Способ по п.1, в котором отношение массы отходов, содержащих крупные частицы, к массе хвостов, содержащих мелкие частицы, в смеси равно 0,6:0,4.

4. Способ по п.1, в котором измельчение руды на стадии а) осуществляют в замкнутом цикле с отделением крупных частиц при сортировке.

5. Способ по п.1, в котором измельчающее устройство имеет такую величину модуля Шумана, при которой минимизируется образование мелких частиц.

6. Способ по п.1, в котором на стадии б) кривая разделения сортировочного устройства имеет крутизну с величиной α , превышающей 3.

7. Способ по п.1, в котором на стадии б) кривая разделения сортировочного устройства имеет кру-

тизну с величиной α , превышающей 5.

8. Способ по п.6, в котором сортировочное устройство представляет собой ситовый или гидравлический классификатор.

9. Способ по п.1, в котором работу измельчительного устройства осуществляют таким образом, чтобы содержание пылеватых частиц, образующихся при измельчении на стадии а), не превышало 25 мас.% руды.

10. Способ по п.9, в котором содержание пылеватых частиц, образующихся при измельчении на стадии а), не превышает 20 мас.% руды.

11. Способ по п.10, в котором содержание пылеватых частиц, образующихся при измельчении на стадии а), не превышает 15 мас.% руды.

12. Способ по п.1, в котором на стадии а) руду измельчают до размера частиц, необходимого для раскрытия по меньшей мере 85% ценных компонентов обогащаемой руды.

13. Способ по п.12, в котором на стадии а) руду измельчают до размера частиц, необходимого для раскрытия больше чем 90% ценных компонентов обогащаемой руды.

14. Способ по п.1, в котором на стадиях а) и б) руду измельчают и сортируют в диапазоне размеров частиц от 200 до 800 мкм.

15. Способ по п.14, в котором на стадиях а) и б) руду измельчают и сортируют в диапазоне размеров частиц от 200 до 500 мкм.

16. Способ по п.1, в котором отсортированная на стадии б) фракция, пригодная для рециркуляции, содержит частицы, размеры которых превышают максимальный размер, выбранный в диапазоне от 350 до 1000 мкм.

17. Способ по п.16, в котором отсортированную фракцию, пригодную для рециркуляции, рециркулируют для дополнительного измельчения.

18. Способ по п.1, в котором частицы, прошедшие через сортировочное устройство, с размерами менее 150 мкм подвергают дополнительной сортировке во втором сортировочном устройстве и выделенную фракцию мелких частиц подвергают тонкому измельчению на стадии д) или флотации мелких частиц на стадии е).

19. Способ по п.1, в котором на стадии в) размеры частиц фракции, пригодной для флотации крупных частиц, находятся в диапазоне от 150 до 700 мкм.

20. Способ по п.1, в котором на стадии в) масса промежуточного концентрата составляет менее 25 мас.% подаваемого материала.

21. Способ по п.20, в котором на стадии в) масса промежуточного концентрата составляет менее 20 мас.% подаваемого материала.

22. Способ по п.21, в котором на стадии в) масса промежуточного концентрата составляет менее 15 мас.% подаваемого материала.

23. Способ по п.1, в котором промежуточный концентрат со стадии в) направляют на повторное измельчение и сортировку на стадии д), которые осуществляют для получения оптимального распределения размеров для флотации мелких частиц в диапазоне от 20 до 125 мкм, причем масса пылеватых частиц ограничивается сверху величиной 50 мас.% материала, подаваемого на повторное измельчение.

24. Способ по п.23, в котором масса пылеватых частиц ограничивается сверху величиной 40 мас.% материала, подаваемого на повторное измельчение.

25. Способ по п.24, в котором масса пылеватых частиц ограничивается сверху величиной 30 мас.% материала, подаваемого на повторное измельчение.

26. Способ по п.1, в котором измельчающее устройство имеет высокую величину модуля Шумана для минимизации формирования пылеватых частиц при измельчении.

27. Способ по п.26, в котором потоки материалов через оборудование измельчения и сортировки организуют таким образом, чтобы максимизировать выведение освобожденной пустой породы в качестве отходов в форме крупнозернистого песка.

28. Способ по п.1, в котором отходы в форме крупнозернистого песка на стадии в) имеют влажностность, превышающую 1 см/с.

29. Способ по п.1, в котором отходы в форме крупнозернистого песка на стадии в) имеют влажностность, превышающую 0,1 см/с.

30. Способ по п.1, в котором отходы в форме крупнозернистого песка на стадии в) имеют влажностность, превышающую 0,01 см/с.

31. Способ по п.1, в котором отходы в форме крупнозернистого песка на стадии в) содержат более 60 вес.% пустой породы, имеющейся в добытой руде.

32. Способ по п.1, в котором отходы в форме крупнозернистого песка обезвоживают до содержания воды в количестве примерно 8-12 вес.%.

33. Способ по п.32, в котором отходы в форме крупнозернистого песка обезвоживают до содержания воды в количестве примерно 10 вес.%.

34. Способ по п.1, в котором содержание воды в сгущенных хвостах, содержащих мелкие частицы, на стадии ж) снижают до 35-45 вес.%.

35. Способ по п.34, в котором содержание воды в сгущенных хвостах, содержащих мелкие частицы, на стадии ж) снижают примерно до 40 вес.%.

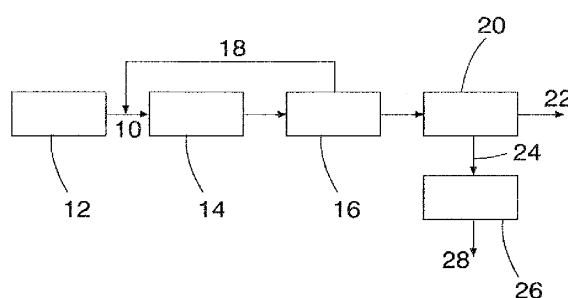
36. Способ по п.1, в котором верхний размер сортировки на стадии б) увеличивают для оптимизации выхода флотации крупных частиц на стадии в).

37. Способ по п.36, в котором верхний размер сортировки на стадии б) увеличивают до максимального размера в диапазоне от 0,7 до 1,5 мкм.

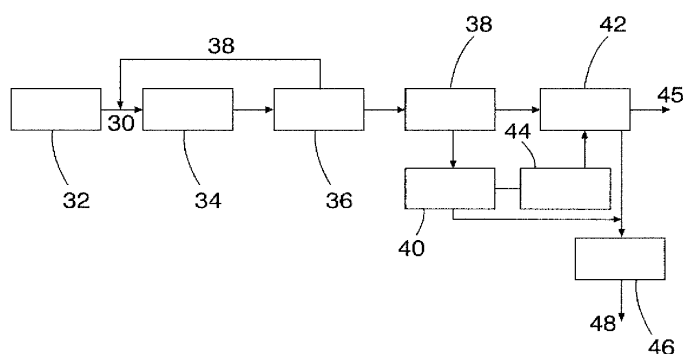
38. Способ по п.37, в котором отходы процесса флотации крупных частиц на стадии в) дополнительно сортируют для получения фракции промежуточного продукта, содержащего более крупные частицы с размерами в диапазоне 150-600 мкм, и фракцию промежуточного продукта хранят для последующего обогащения в течение срока службы шахты.

39. Способ по п.1, в котором отходы процессов флотации крупных и мелких частиц снова соединяют и затем последовательно повторно сортируют для обеспечения крупнозернистого песка, который обезвоживают, и хвостов, содержащих мелкие частицы, которые сгущают, и обезвоженный крупнозернистый песок и сгущенные хвосты соединяют для обеспечения указанной смеси.

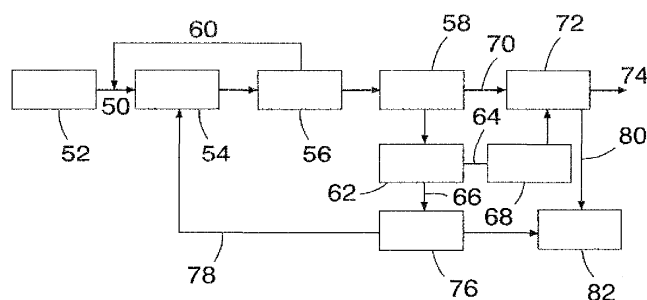
40. Способ по п.1, в котором ценными металлами являются медь, золото, цинк, свинец, никель или металлы группы платины.



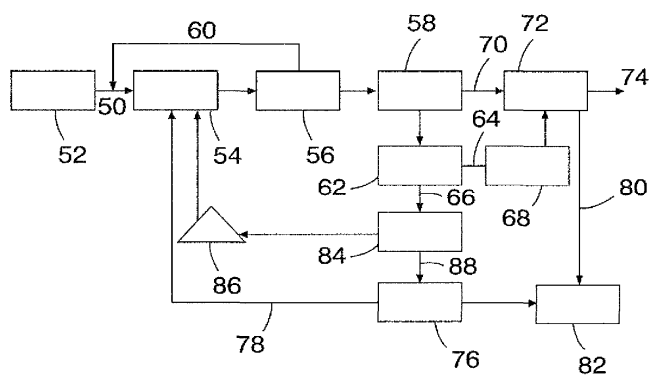
Фиг. 1



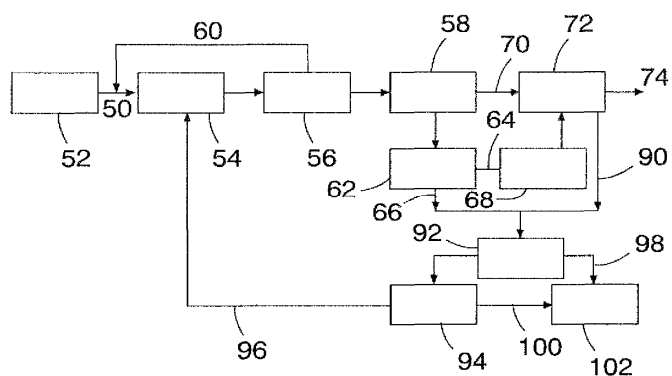
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2