

В.М. Закалинский, Р.Я. Мингазов

НОВЫЙ СПОСОБ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрен способ подземного направленного сотрясательного взрывания с целью повышения эффективности выщелачивания в системах разработки с использованием физико-химических геотехнологий. Показана возможность образования заряда любого диаметра и энергии на основе воспроизведения и использования эффекта направленного действия взрыва пучка, одновременно взрывааемых сближенных скважинных зарядов. При этом в массиве происходит существенное раскрытие и образование новых микротрещин. В практическом плане это делает возможным применение штатной буровой техники в обычных буровых выработках, то есть в стесненных условиях подземной разработки реализацию нового технологичного производства буровзрывных работ.

Ключевые слова: взрыв, взрывчатое вещество, структура горной породы, конструкция заряда, камуфлетно-сотрясательное взрывание, пучки горизонтальных сближенных скважин, выщелачивание.

Одним из факторов горного производства, как известно, являются процессы в физико-технической и физико-химической геотехнологиях, включающие комплекс средств и методов извлечения полезного компонента при освоении недр и представляющие одну из научных дисциплин в группе горных наук [1]. Разработка месторождений полезных ископаемых с применением таких геотехнологий требует новых подходов и гибких методов, удовлетворяющих требованиям, в том числе специфические, и условия конкурентных рыночных отношений, что в совокупности достигается появлением инновационных геотехнологий. Освоение месторождений осуществляется в разнообразных горно-геологических условиях, требует дезинтеграции горных пород и полезных компонентов различных физико-механических свойств в массивах горных пород со структурными и газо- и геодинамическими особенностями, которые

с понижением глубины разработки значительно усугубляются. Возрастают требования к экологическим последствиям буровзрывных работ, экономической эффективности разработки месторождений, качеству конечной продукции.

Анализ систем разработки, в этой связи, показал необходимость совершенствования применяющихся методов взрывных для повышения эффективности извлечения полезных компонентов из массива горных пород [2]. С этой целью в ИПКОН РАН предложен способ предварительной взрывной подготовки массива, позволяющий изменять физико-механические и технологические свойства горного массива с целью интенсификации процессов извлечения из них полезных компонентов. Способ базируется на некоторых факторах (аспектах) действия взрыва, вытекающих как следствие нового направления в буровзрывных работах в виде метода крупномасштабной взрывной отбойки массивов горных пород. Его особенностью является возможность управления действием взрыва образованием специальных конструкций скважинных зарядов имеющейся на горном предприятии буровой техникой. При взрыве таких зарядов формируются разной интенсивности волны направленного действия с учетом особенностей взрываемого массива [3]. Ключевым моментом является наличие интегрального способа управления действием взрыва и технологического средства его реализации с выборочным изменением масштабов взрывного разрушения. Использование этих элементов в новых условиях позволяет развивать формы извлечения из недр полезных ископаемых оказанием влияния на процесс выщелачивания и тем самым совершенствовать геосистемы и их эффективность.

Физико-технические и физико-химические геотехнологии имеют свою область применения, связанную с эффективностью процессов выщелачивания. Для разработки новых подходов необходим комплексный анализ средств и методов извлечения полезного компонента при освоении недр, включающий физико-химические основы процесса выщелачивания, технологические характеристики разрушенных горных пород, взрывную интенсификацию подземного выщелачивания.

Под выщелачиванием, как известно, понимается селективное растворение металлов (или других полезных компонентов, подлежащих выщелачиванию) химическим реагентом с последующим удалением вновь образованных химических соединений, направленную миграцию технологических растворов, содержащих полезный компонент и последующее извлечение

последнего из раствора. Выщелачивание полезного компонента из раздробленной руды производят за счет его перевода в легко растворимую форму путем химического окисления. В зависимости от характера рудной минерализации применяют прямое или диффузионное выщелачивание. Форма нахождения металла в руде оказывает заметное влияние на процесс выщелачивания.

При дроблении руд цветных и редких металлов гидротермальных месторождений разрушение происходит по ослабленным зонам скопления оруденения или естественным нарушениям. Имеющие более высокую механическую прочность породы, не содержащие металла или обедненные им, дробятся хуже. Дробление руд с прожилковой минерализацией характеризуется селективностью — повышением содержания полезного компонента в мелких фракциях по отношению к содержанию в массиве. Дробление руд с тонковкрапленной минерализацией характеризуется распределением полезного компонента пропорционально выходу гранулометрического класса.

Размер отдельности и дисперсионная характеристика гранулометрического состава при дезинтеграции должны обеспечивать вскрытие металлосодержащих минералов. В технологии подземного выщелачивания некондиционным является размер куска, «который не обеспечивает в рассматриваемый момент времени рентабельного получения единицы промышленной продукции». При этом увеличение степени дробления руды при подготовке к выщелачиванию ограничивается процессом пересадения металла из продуктивного раствора на поверхности раздробленной руды, причем с увеличением степени дробления количество пересаженого металла возрастает.

Развитие технологических процессов в аспекте физико-химической и комбинированной геотехнологии базируется на известных методах взрывного воздействия на массив горных пород, обеспечивающего эффективность процесса выщелачивания. Это достигается обеспечением заданной степени дробления по методике, когда параметры зарядов при взрывании в зажатой среде определяются с учетом потенциальной энергии применяемого ВВ или удельного расхода ВВ, линии наименьшего сопротивления (ЛНС) и расстояния между зарядами при взрывании на одну свободную поверхность [4].

При взрывной подготовке руды для подземного выщелачивания используются высокоэффективные ВВ: аммиачноселитренные ВВ — граммотол 15, граммотол 20, гранулит А6 и эмульсионные ВВ — порэммит 8А, гранэммит И-50. Для получе-

ния среднего куска $d_c = 20$ см рассчитываются параметры зарядов в веере при удельном расходе граммол $20 q_{\text{ВВ}} = 1,5 \text{ кг/м}^3$, линия наименьшего сопротивления составляет $W = 1,6-1,8$ м.

Как известно, использование аммиачноселитренных ВВ при отбойке сульфидосодержащих руд приводит к снижению химической стойкости и стабильности смесей: жидкой фазы (эмульсионных матриц) и твердой фазы (аммиачной селитры). Для безопасного ведения взрывных работ необходимо использование технических средств, обеспечивающих защиту гранул аммиачной селитры от воздействия неблагоприятных факторов (кислот, щелочей, сульфидов). Для защиты аммиачной селитры от воздействия сульфидов предложен способ покрытия гранул полиэтиленом. Данный материал химически стоек к действию кислот, щелочей, сульфидов. Для повышения стабильности и детонационной способности смеси сенсibiliзированной эмульсии типа «вода в масле» и аммиачной селитры может использоваться покрытая 1,83–13,6% полиэтилена селитра.

В зависимости от вещественного и минералогического состава руд, формы нахождения металла в рудных минералах применяются различные методы и способы выщелачивания и обработки руд. Для кислого выщелачивания дробление горной массы более крупное, продолжительность процесса менее длительна.

Взаимодействие аммиачной селитры с минеральными кислотами, сульфидами (железными и медноколчеданными рудами), нитритами, известью хлорной и негашеной, окисью и гидроксидом кальция вызывает ее химическое разложение.

Сульфидосодержащие руды оказывают на аммиачную селитру и продукты на ее основе в жидкой фазе (эмульсионные матрицы) воздействие, значительно снижающее стойкость последних, присутствие аммиачной селитры в твердой фазе ведет к более сильному снижению стабильности смесевых ВВ.

При разработке урановых и полиметаллических месторождений для взрывной интенсификации подземного выщелачивания ведется бурение скважин в нарушенных горных породах. После завершения активной стадии выщелачивания в отработываемом блоке в замагазинированной руде остается некоторое количество химического реагента, химико-технологические свойства которого необходимо учитывать при выборе ВВ при проведении повторного дробления.

Физико-геологические и горнотехнические факторы определяют эффективность разработки геотехнологическими методами урановых, медных, свинцовых месторождений, руд

цинковых, железа, фосфатов и др. Такие факторы залежи как естественная пористость, текстура и структура определяют решающий фактор – проницаемость и, как следствие, параметры технологии подземного выщелачивания для многих геотехнологических методов, являясь необходимым условием осуществления процесса добычи.

При подземной разработке традиционная взрывная отбойка в системах подземного выщелачивания из горных выработок производится с целью получения дробленной горной массы (грансостава Физика выщелачивания в этом случае представляет собой искусственный процесс перемещения через нее рабочих агентов и продуктивных флюидов с извлечением ископаемых через специальные дренажные выработки – скважины с последующим извлечением полезных компонентов из добытых продуктов. Широко известны так же практика и способы предварительного взрывного сотрясения массивов полезных ископаемых с последующим извлечением компонентов физико-химическими методами. Их общим недостатком является невозможность в стесненных условиях подземной разработки оперативно и одновременно технологично в параметрах обычной буровой выработки образовывать мощные скважинные заряды направленного дей-

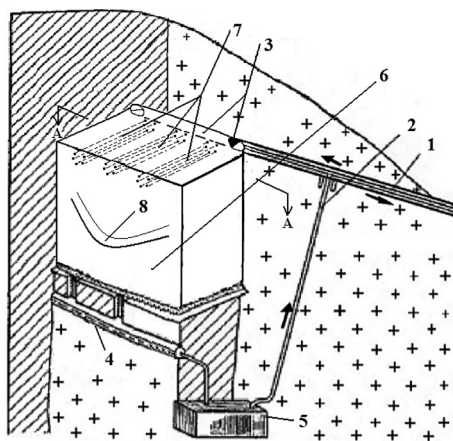


Рис. 1. Принципиальная схема способа сотрясательного взрывания при подземном выщелачивании из горных выработок: 1 – трубопровод для рабочих агентов, 2 – трубопровод для подъема продуктивного раствора, 3 – буровая выработка, 4 – трубопровод для орошения рудного массива, 5 – общий раствороприемник, 6 – взорванный блок руды, 7 – пучки параллельно сближенных скважинных зарядов, 8 – взрывная волна направленного действия

ствия практически любого диаметра. Для потенциально пригодных к выщелачиванию руд предлагается такой способ – предварительного камуфлетно-сотрясательного взрывания с последующей естественной фильтрацией. В этом случае физика выщелачивания подобна известной технологии подземного естественного выщелачивания через скважины, но имеется принципиальное отличие. Оно заключается в том, что прошедшая по массиву мощная направленная взрывная волна раскрывает



Рис. 2. Пучок пробуренных параллельно-сближенных скважинных зарядов

в массиве микротрещины, в результате чего химические и физические процессы при взаимодействии рабочих агентов и продуктивных флюидов в раскрытых трещинах, обладающих существенно большей поверхностью контакта, значительно интенсифицируются.

На рис. 1 показана одна из традиционных схем инфильтрационного подземного выщелачивания из горных выработок, дополненная конструктивными элементами, реализующими идею интенсификации процесса выщелачивания. Из горных выработок на определенном расстоянии друг от друга бурятся пучки 3–9 параллельно-сближенных скважин по определенной в их сечении конфигурации параллельно оси блока. Далее в обычном порядке производится их зарядание взрывчатыми составами и взрывание одновременное или с замедлением. В условиях всестороннего сжатия (камуфлетно-сотрясательный взрыв) дробления массива не происходит. При прохождении по телу рудного блока мощной взрывной волны происходит раскрытие микро- и макротрещин с существенным увеличением их общей поверхности, что существенно увеличивает эффект выщелачивания при его инфильтрационной схеме. В случае жильных форм месторождения взрывные работы корректируются сообразно масштаба проведения очистных работ. На рис. 2 представлен вариант схемы сотрясательного взрывания с расположением в буровой выработке трех горизонтальных пучков сближенных скважин-

ных зарядов с кумулятивным эффектом направленного действия в сторону выщелачиваемой части горного массива. При этом выпуклую поверхность группового пучкового заряда направляют в сторону большей трещиноватости и с учетом контактных участков разнотипных горных пород и других горно-геологических аномалий рудного тела. Использование различных взрывчатых составов и конструктивных модификаций в параллельно-сближенных скважинных зарядах увеличивает полезные формы работы взрыва [5, 6]. При направленном взрывании таких крупных зарядов в массиве происходит существенное раскрытие и образование новых микротрещин, что повышает эффективность выщелачивания в системах разработки с использованием физико-химических геотехнологий. При этом возможность использования штатной буровой техники в обычных буровых выработках позволяет в практическом плане в стесненных условиях подземной разработки технологично реализовать новое применение крупномасштабного взрывания.

Таким образом, рассмотрен новый подход в области взрывных работ, повышающий экономическую эффективность разработки редкоземельных и стратегического сырья месторождений, крупных и глубокозалегающих залежей бедных руд, их забалансовых участков, что определяет инновационный путь развития физико-химических геотехнологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Малышев Ю. Н., Пучков Л. А. и др. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. РАН, АГН, РАЕН, МИА / Под ред. К. Н. Трубецкого. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. — 478 с.
2. Физико-химическая геотехнология: Учебник для вузов / Под общ. ред. В. Ж. Аренса. — М.: Изд-во МГГУ, изд-во «Горная книга», 2010. — 575 с.
3. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Осокин А. А. Эффективная взрывная подготовка при освоении пластовых месторождений // Вестник Российской академии наук. — 2015. — № 2. — Т. 85. — С. 138–145.
4. Закалинский В. М., Франтов А. Е. Физико-химические предпосылки выбора ВВ при интенсификации выщелачивания из крепких руд // Вестник Российской академии естественных наук. — 2013. — № 6. — Т. 13. — С. 95–102.
5. Викторов С. Д., Закалинский В. М., Осокин А. А. К теоретическим предпосылкам действия взрыва при крупномасштабном и селективном взрывании горных пород в сложных условиях // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — № 6. — С. 79–86.
6. Еременко А. А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 2013. — 192 с. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Закалинский Владимир Матвеевич*¹ — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vmzakal@mail.ru,
*Мингазов Рафаэль Якубович*¹ — аспирант, e-mail: ghost1064@yandex.ru,
¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 9, pp. 244–251.

UDC 622.235

V.M. Zakalinskiy, R.Ya. Mingazov

NEW METHOD OF BLASTING IN FIELD DEVELOPMENT WITH APPLICATION OF PHYSICAL-CHEMICAL GEOTECHNOLOGIES

In the article the method of underground directional shaking of blasting with the aim of increasing the efficiency of leaching in systems development using physico-chemical Geotechnology. The possibility of formation of charge of any diameter and energy through play and the use of the directional effect of the explosion of the beam at the same time blow up of closely spaced borehole charges. Thus in the array there is a significant disclosure and the formation of new microcracks. In practical terms, this makes possible the use of regular drilling equipment in mine drilling normal, that is, in straitened conditions of underground mining new technological implementation of drilling and blasting.

Key words: blast, explosive, structure of rock, charge design, camouflet-shaking blasting, bundles of closely spaced horizontal wells, leaching.

AUTHORS

*Zakalinsky V.M.*¹, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher,
e-mail: vmzakal@mail.ru,

*Mingazov R.Ya.*¹, Graduate Student, e-mail: ghost1064@yandex.ru,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Malyshev Yu.N., Puchkov L.A. *Gornye nauki. Osvoenie i sokhranenie nedr Zemli*. Pod red. K. N. Trubetskogo (Mining sciences. Mineral wealth development and preservation. Trubetskoy K. N. (Ed.)), Moscow, Izd-vo Akademii gornykh nauk, 1997, 478 p.

2. *Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya*: Uchebnik dlya vuzov. Pod red. V. Zh. Arensa (Physicochemical geotechnology: Textbook for high schools. Arens V. Zh. (Ed.)), Moscow, Izd-vo MGGU, izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 575 p.

3. Viktorov S. D., Zakalinskiy V. M., Osokin A. A. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2015, no 2, vol. 85, pp. 138–145.

4. Zakalinskiy V. M., Frantov A. E. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*. 2013, no 6, vol. 13, pp. 95–102.

5. Viktorov S. D., Zakalinskiy V. M., Osokin A. A. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2014, no 6, pp. 79–86.

6. Eremenko A. A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh работ na zhelezorudnykh mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri* (Improvement of drilling-and-blasting technology at iron ore deposits in West Siberia), Novosibirsk, Nauka, 2013, 192 p.