

УДК 622.27

Особенности освоения месторождений урановых руд с использованием горно-химической технологии

Андреев Б. Н.¹, Куча П. М.²

¹ Криворожский технический университет, Украина

² ГП «ВостГОК», Желтые Воды, Украина

Аннотация

Рассмотрены особенности горно-химической технологии разработки уранового сырья с низким содержанием полезного компонента, позволяющей значительно сократить объемы капитальных и подготовительных горных работ при строительстве и эксплуатации шахт. Приведены результаты внедрения подземного блочного выщелачивания бедных урановых руд Мичуринского месторождения.

В последние годы в реальном секторе мировой экономики спрос на уран неуклонно возрастал. Это сырье не утратило своей значимости и в условиях нынешнего кризиса. Украина занимает шестое место в мире по запасам урана. Они обрабатываются единственным в стране государственным предприятием «ВостГОК». Предприятие занимает лидирующие позиции в Европе. Объемы производства комбината составляют 3,3 % мировой добычи урана и обеспечивает треть потребностей атомных станций Украины. Недостающее топливо поставляется зарубежными производителями, что требует ежегодных расходов около 700 млн. грн. Правительственными решениями поставлена задача до 2030 г. выйти на полное обеспечение потребностей АЭС Украины собственным ядерным топливом.

Этим обусловлена необходимость поиска эффективных методов и технологий, которые позволили бы разрабатывать месторождения, залегающие в сложных геологических и горнотехнических условиях, а также запасы с низким содержанием полезного компонента, без увеличения стоимости единицы конечной продукции. Вместе с тем, вовлечение в разработку бедных руд, залегающих на больших глубинах, неизбежно приводит к усложнению технологических процессов добычи и переработки сырья. Это в равной мере относится ко всем полезным ископаемым, в том числе и к урану.

За последние годы научными организациями и работниками уранодобывающей промышленности проделана большая работа в направлении совершенствования технологических процессов добычи и переработки урана. Все более широкое применение при разработке урановых руд находит метод подземного выщелачивания (ПВ). Он нашел применение на месторождениях, которые в связи со сложными условиями залегания и, соответственно с высокими требуемыми удельными капиталовложениями и эксплуатационными расходами не могут быть отработаны традиционными способами.

Анализ мировой практики свидетельствует, что в разработку методом ПВ вовлекаются все новые месторождения. В настоящее время этим методом уже разрабатываются месторождения урана осадочного типа, представленные рудами естественной проницаемости, и месторождения гидротермального генезиса (скального типа), руды которых перед выщелачиванием нуждаются в дроблении. На ряде зарубежных и отечественных месторождений в настоящее время проведены или проводятся опытные или опытно-промышленные работы с получением исходных данных для технико-экономического обоснования и проектирования промышленных предприятий по добыче и переработке урана.

Следует указать на ряд характерных особенностей разрабатываемых месторождений. Руды водородных месторождений относятся к бедным и очень бедным, а гидротермальных – к убогим. На последних – руды с промышленным содержанием металла как правило были ранее отработаны подземными горными работами с применением традиционных технологий. Оставшиеся забалансовые запасы и стали объектами применения метода ПВ.

Стоимость единицы металла в конечной продукции гидротермического завода (ГМЗ), перерабатывающего урановое сырье, напрямую зависит от содержания полезного

компонента в руде и, соответственно, себестоимости ее добычи. Помимо низкого содержания урана в рудах, для месторождений указанных типов характерны и другие факторы, неблагоприятно влияющие на стоимость добычи. Это значительные глубины залегания гидрогенных месторождений (250...350 м и более); сложная морфология рудных тел – невыдержанность по мощности и ширине, а также их разобщенность как в плане, так и в вертикальной плоскости; большая неоднородность по проницаемости не только вмещающих пород и рудных тел продуктивного горизонта, но и отдельных участков рудных тел; наличие в налегающих толщах нескольких водоносных горизонтов.

Несмотря на эти неблагоприятные факторы, добыча урана методом подземного выщелачивания применяется все шире, что является следствием значительного технико-экономического эффекта, заложенного в самом методе. Источники технико-экономического эффекта несложно выявить, сравнив и проанализировав основные переделы и процессы при методе подземного выщелачивания и традиционных способах добычи урановых руд. Сопоставление показывает, что при методе ПВ по сравнению с традиционными способами добычи количество технологических процессов и переделов сокращается, что влечет за собой снижение капитальных затрат на строительство и реконструкцию горнодобывающих предприятий, а также трудозатрат, расхода энергии и материалов на выполнение добычных работ. Помимо того, преимущество метода ПВ также и в том, что процессы добычи приобрели совершенно иную качественную характеристику в части организации и безопасности человеческого труда, применяемых орудий труда и средств производства [1].

ГП «ВостГОК» обрабатывает сегодня три месторождения урана. Обработка производится подземным способом камерными системами с последующей закладкой выработанного пространства твердеющей смесью. Традиционные технологии разработки и дальнейшего гидрометаллургического автоклавного передела, доставшиеся комбинату в наследство от прежних времён, при переходе к рыночной экономике оказались высокочрезвычайными и целесообразны лишь при отработке запасов с высоким содержанием урана. Предприятие вынуждено искать новые, более дешёвые методы добычи и переработки руды.

Урановые руды залегают в метаморфизированных гранитах. Породы представлены кварцем и полевыми шпатами, т. е. твёрдые и монолитные. Процедура рудообразования урановых месторождений связана с натриевым метасоматозом и в отличие от гидротермальных процессов рудообразования, характерных для жильных месторождений, в обрабатываемых месторождениях, минералы равномерно рассеяны по всему объёму. В связи с постепенной отработкой богатых залежей урана, в промышленную эксплуатацию вовлекаются залежи, представленные бедными и убогими рудами. Значительная часть этих запасов не вскрыта.

В настоящее время на шахтах комбината наблюдается снижение фронта очистных работ, обусловленное постепенным сокращением сырьевой базы. Технология добычи руды исчерпала свои возможности по наращиванию объёмов без значительных инвестиций в горно-капитальные работы. Для преодоления наметившихся тенденций назрела необходимость новых технологических решений как по добыче, так и по переработке добываемой руды.

Одним из наиболее перспективных направлений представляется применение горно-химических методов, в частности – подземного выщелачивания замагазинированной руды в очистных блоках. Основными преимуществами ПВ для условий шахт ГП «ВостГОК» являются: вовлечение в эксплуатацию бедных, убогих и забалансовых руд, а также месторождений, характеризующихся сложными условиями залегания; получение урана путем последующего довыщелачивания отдельных рудных тел отработанных месторождений, что значительно расширяет сырьевую базу; значительное сокращение объёмов нарезных работ; уменьшение объёмов извлекаемой из камеры рудной массы и ее транспортировки, поскольку фактически вывозится только руда из компенсационного пространства щели, а около 85 % рудной массы остается в камере.

Помимо того, исключается процесс обогащения рудной массы на обогатительных фабриках или гидрометаллургических заводах; сокращается численность рабочих, занятых на добыче руды в подземных условиях; буровое и погрузочно-доставочное оборудование используется только в начальный период подготовки и разрыхления рудного массива; снижется себестоимость добычи урана за счет сокращения затрат на оборудование, материалы, энергоносители, заработную плату; не требуется закладка камер, отсутствуют отвалы пород и хвостохранилища на поверхности; благодаря замкнутой системе оборота кислых и продуктивных растворов и отсутствию значительных грузопотоков из очистных блоков на поверхность

уменьшается негативное воздействие на окружающую среду.

На протяжении последних лет на шахте «Ингульская» ГП «ВостГОК», разрабатывающей Мичуринское месторождение, в блоке 5-86 5-й залежи в этаже 210–280 м проведены опытно-промышленные работы по освоению технологии подземного выщелачивания. Перед началом работ была проанализирована форма нахождения урана в руде, характер рудной минерализации, определен оптимальный грансостав выщелачиваемой рудной массы, разработана методика подготовки блока к выщелачиванию с максимальным вскрытием рудной минерализации взрывом и последующим доступом к нему реагента. Также разработана технология закисления блока, сбора продуктивных растворов и другие технологические операции.

Урановое оруденение в котором проведены опытно-промышленные работы по освоению технологии подземного выщелачивания представлено плотными скальными породами. В своем природном состоянии эти породы являются водоупорами и в силу своего минерального состава обладают кислотостойкостью. Природные горно-геологические и гидрогеологические условия месторождения обеспечивают надежную изоляцию технологических растворов от растекания и потерь. Притоки подземных вод на месторождении составляют до 300 м³/ч, основные притоки установлены по линейным зонам трещиноватости и тектоническим разломам. Очистные работы ведутся в пределах уже сформировавшейся депрессионной воронки, вследствие чего вмещающие породы и руды не обводнены. В результате проведенных исследований установлены и использованы на практике оптимальные сочетания генетических особенностей руд со способом их подготовки, обеспечивающие максимальное раскрытие рудной минерализации взрывом и, следовательно, полный доступа к ним реагента. Одним из основных элементов подготовки блока к выщелачиванию являлось создание горизонта орошения и горизонта улавливания продуктивных растворов. Горизонт орошения создавался путем использования ранее пройденных выработок и проходкой орта орошения вдоль горизонта 210 м, рис. 1.

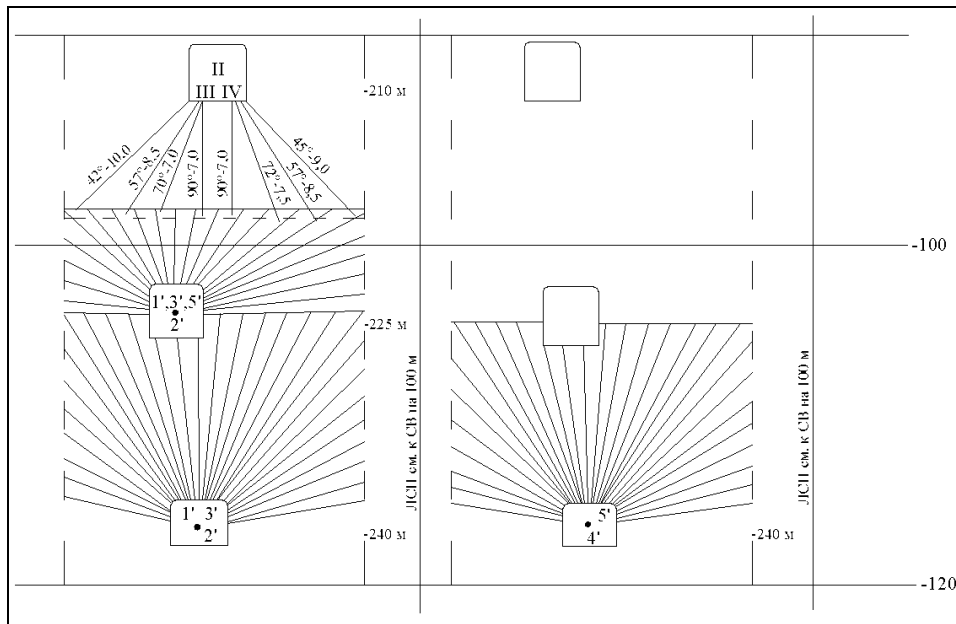


Рис. 1. Разбуривание опытного блока 5-86 с горизонта орошения

Из орта орошения производилось бурение веером скважин диаметром 0,85 м, при этом в массиве была создана сетка орошения 2×2 м из 72 скважин. Общий объем бурения составил 495 м скважин. По горизонту орошения проложен магистральный трубопровод диаметром 0,1 м от которого произведена разводка оросительной системы с использованием резиновых и полиэтиленовых шлангов диаметром 0,019 м. Один конец разводящих шлангов соединялся с магистральным трубопроводом, а второй – с форсункой на конце – опускался в скважину орошения.

Горизонт улавливания продуктивных растворов был создан в штреке скреперования блока на гор. 255 м. Проходка штрека скреперования производилась с уклоном не менее 3 % в сторону рудоперепускника, где в целях обеспечения улавливания растворов сооружен ограждающий барьер. Также на горизонте улавливания сооружены зумпфы под сборники-

отстойники продуктивных растворов, растворов выщелачивания и нейтрализации. По контуру блока пробурены контрольные и наблюдательные скважины. Поскольку по результатам предварительных гидрогеологических обследований вокруг рудного массива не выявлено разломов и трещин, строительство дополнительного гидроизоляционного слоя, устройство ограждающих перемычек и тампонирующее устройство массива не проводилось.

Данные по экспериментальному блоку 5-86 следующие: объём рудной массы в блоке составил 8248 т; расход ВВ по всему блоку – 4,3 кг/м³, в том числе при формировании компенсационной щели – 4,7 кг/м³. Полученный после взрыва гранулометрический состав рудной массы укладывается в пределы 0...150 мм. Класс 0+50 мм составил около 55 %. При анализе физико-химических свойств руд и вмещающих пород отмечено малое количество карбонатов и полное отсутствие глинистых минералов, благодаря этому отсутствует агломерация руд в очистном пространстве. Разупрочненный взрывом рудный массив характеризуется высокой проницаемостью. Снижение фильтрационных свойств замагазинированной рудной массы при выщелачивании отсутствовало. Кальматация порового пространства не отмечена.

Выщелачивание блока проводилось по инфильтрационной схеме слабокислыми растворами серной кислоты. Средний расход кислоты составил 26 кг/т, средняя кислотность продуктивных растворов – 11 г/л, извлечение урана составило – 74,2 %. Промывка хвостов блочного выщелачивания выполнена технической шахтной водой до уровня рН = 6,5 с последующей нейтрализацией промывочных вод известковым молоком.

Анализ гранулометрического состава хвостов ПВ после выщелачивания показал, что наибольшим по объёму является класс крупности – 100+50 мм – 34,4 %. Содержание урана в рудной массе этого класса составило 0,023 %. Максимальное содержание урана отмечено во фракции – 150+100 мм – 0,03 %. Выход этой фракции составил 11,0 %.

Помимо того, до начала процесса выщелачивания и после его окончания выполнялся химический анализ исходной руды и полученных хвостов. В табл. 1 представлены результаты этого анализа. Как видно из таблицы, выщелачивание слабокислыми растворами серной кислоты практически не изменило вещественный состав рудной массы за исключением урана.

Табл. 1. Результаты химического анализа урановой руды Мичуринского месторождения до и после выщелачивания

Пробы	Химический анализ, %												
	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ZrO ₂	V ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	S _{общ}	MnO	U
Руда	73,3	0,62	2,66	1,49	16,33	0,14	0,068	0,008	0,27	10,26	0,08	0,04	0,065
Хвосты ПВ	67,26	0,46	1,75	0,5	17,58	0,18	0,068	0,009	0,12	11,2	0,10	0,04	0,017

Технико-экономический анализ результатов опытно-промышленных работ показал, что себестоимость добычи урана в сравнении с традиционным способом снизилась на 35...45 %.

Выводы.

Работы по освоению Мичуринского месторождения урановых руд с использованием горно-химической технологии на шахте «Ингульская» ГП «ВостГОК» дали положительные результаты. Применение подземного блочного выщелачивания по сравнению с традиционной технологией позволило снизить объёмы подготовительных горных работ, а также сократить количество выдаваемой на поверхность рудной массы на 80 %. Существенно снижены затраты на транспортировку, дробление, измельчение и химико-технологическую переработку урановой руды на ГМЗ. Расширена сырьевая база ГП «ВостГОК» за счет вовлечения в отработку бедных урановых руд не пригодных для рентабельной добычи с применением традиционной технологии. Помимо того, исключена необходимость формирования отвалов пустых пород на дневной поверхности и увеличены сроки эксплуатации (заполнения) хвостохранилища.

Библиографический список

1. Добыча урана методом подземного выщелачивания. Под редакцией В. А. Мамилова. М., Атомиздат, 1980.

© Андреев Б. Н., Куча П. М., 2009 г.