
ОПЫТ ОТРАБОТКИ ГАУРДАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОЙ ВЫПЛАВКИ СЕРЫ

В.Е. Высотин

Производственного объединения «Туркменминерал»

Метод ПВС использует такие свойства элементарной серы, как низкая температура плавления ($112,8-119^{\circ}\text{C}$), большая по сравнению с водой плотность ($1,8\text{ г/см}^3$) и невысокая вязкость в жидкой фазе в рабочем интервале температур $120-150^{\circ}$, а также нерастворимость в воде и воздухе.

Перевод серы в жидкое состояние происходит на месте ее залегания путём подачи в залежь теплоносителя (перегретой воды) с последующим подъёмом её на поверхность сжатым воздухом.

Краткая характеристика Гаурдакского месторождения серы. В геологическом строении принимают участие осадочные комплексы горных пород верхнеюрского и четвертичного периодов. Первые представлены известняками мощностью порядка 500 м, на которых залегает рудовмещающая толща ангидритов с прослоями и линзами известняков общей мощностью от 50 до 250 м. Отложения четвертичного возраста мощностью до 250 м представлены глинами, суглинками с обломками известняков, гипсов и песчаников.

Кровля кугитангских известняков разбита тектоническими разрывными нарушениями и образует горст-грабенную структуру с амплитудами, в среднем, 10–20 м, при максимальных значениях смещений — до 100 м

и более. В ангидритах тектонические нарушения проявляются в виде зон смятия, дробления и трещиноватости.

Рудные тела представлены залежами серно-кальцитовых руд, приуроченных к ангидритовой толще, образовавшихся по ангидритам в результате метасоматических преобразований. В основной массе серные залежи, контролируемые разрывными нарушениями в разрезе, представляют собой трубообразные, штокообразные (вытянутые вверх) тела, разобщенные блоками ангидритов и гипсов различных размеров и конфигураций. Мощности рудных тел колеблются от 0 до 250 м, глубина залегания колеблется от 0 до 700 м.

Руды месторождения отличаются крайне высокой закарстованностью, которая подразделяется на кавернозность (отверстия до 12 мм в диаметре) и крупные полости (глубиной до 200 м, диаметром до 30 м и более), приуроченные к зонам тектонических разломов. Нередко карстовые полости представлены каналами и колодцами.

В пределах месторождения выявлено два водоносных горизонта. Первый приурочен к серным рудам, второй — к подстилающим известнякам. Питание обоих гидравлически связанных водоносных горизонтов происходит за счет подземных вод и фильтрации атмосферных осадков на участках

выхода подстилающих известняков на дневную поверхность. Месторождение относится к типу раскрытых, поскольку в некоторых местах серные руды имели выходы на дневную поверхность, по которым изливались высокоминерализованные подземные воды.

В 1966 году по просьбе министра химической промышленности СССР Гаурдак посещает группа американских экспертов, которые, ознакомившись с материалами по геологии и гидрогеологии месторождения, выносят отрицательное заключение на целесообразность применения здесь метода ПВС. Однако директор серного комбината приглашает коллектив лаборатории специальных методов института ГИГХС, который совместно с работниками комбината проводит весь комплекс гидрогеологических исследований, изучает физико-геологическую обстановку глубинного участка месторождения, разрабатывает технологию, оборудование и выдает исходные данные для проектирования опытно-промышленной установки, которая была спроектирована и построена в 1971 году.

Технология ПВС включает в себя следующие технологические операции: сооружение скважин, приготовление теплоносителя и добычу полезного ископаемого.

Сооружение скважин. Добычные скважины бурятся станками и обсаживаются трубами до сероносного пласта. Обсадную трубу цементируют и далее продолжают бурить сероносный пласт на всю мощность. В скважину опускают три концентрически расположенные технологические колонны диаметром 168, 114 и 28 мм. Верхнюю часть скважины оборудуют оголовком с запорной арматурой, обеспечивающей регулировку подачи теплоноси-

теля и сжатого воздуха, а также выпуск жидкой серы на поверхность.

Приготовление теплоносителя. Исходная вода, пройдя цикл глубокой химической очистки, благодаря которой плотность её снижается до $0,9 \text{ г/см}^3$, в паровой котельной нагревается острым паром до температуры 170°C и становится кондиционным теплоносителем, который повысительными насосами перекачивается на добычной участок, где распределяется между добычными скважинами в зависимости от их назначения.

Добыча серы. Теплоноситель, проникая через перфорацию в нижней части технологической колонны, разогревает сероносную залежь. Расплавленная сера, как более тяжелая жидкость, стекает вниз и через перфорацию поступает в серовыдачную колонну, по которой поднимается на высоту, определяемую гидростатическим давлением у почвы пласта. При подаче по трубе диаметром 28 мм сжатого воздуха сера эмульгируется и поднимается по серовыдачной колонне на поверхность. Далее жидкая сера направляется на участковую станцию перекачки, где после отделения из нее сернистых газов по серопроводу поступает в железнодорожные цистерны или на склад комовой серы.

В процессе разработки закачиваемый в пласт теплоноситель распространяется по всему участку месторождения. Работой водоотливных скважин регулируется пластовое давление и технологический процесс добычи серы.

Основные факторы, выявленные в ходе опытно-промышленных работ.

Анализ и обобщение результатов работы позволили выявить факторы, отрицательно влиявшие на процесс добычи и требовавшие специальных подходов при проведении технологического процесса:

– большая мощность (свыше 200 м) и глубина (до 700 м) серных залежей;

– круто наклонное залегание рудных тел;

– неравномерность содержания серы в руде (1 – 25%);

– высокая плотность подземных пластовых вод (1,090 – 1,120 г/см³);

– наличие водоупорных прослоев внутри рудных тел;

– наличие зон разгрузки карьеров, где велась открытая разработка и работала система осушения.

Большая мощность залежей, представленных закарстованными рудами с неоднородным содержанием серы, не позволяла прогревать нижнюю часть залежи одиночными скважинами, пробуренных по сетке 40х40 м, и формировать общую зону плавления.

Кроме того, большая глубина залегания рудных тел и высокая плотность высокоминерализованных подземных вод способствовали быстрому всплытию пресного теплоносителя плотностью 0,9 г/см³ в кровлю рудной залежи, где он плавил серу. Далее теплоноситель по пористым породам и карстам уходил в зону разгрузки — к погруженным насосам осушения карьеров.

Для борьбы с этим явлением применялись методы кольматации отработанных добычных скважин «хвостами» обогатительной фабрики и строительство противофильтрационных завес путем бурения створов специальных тампонажных скважин, в которые закачивались глинисто-цементные растворы.

Новые технические решения по повышению эффективности работы теплоносителя в пласте.

С целью решения вышеперечисленных проблем были разработаны следующие методики:

1. Для повышения извлечения и образования единой зоны плавления

в залежах мощностью свыше 100 м, серодобычные скважины однотрубной конструкции размещались «тройками» (буквально в 3-х м друг от друга) по сгущенной сетке 15х15 м, а на мощностях свыше 150 м — по сетке 10х10 м.

2. Залежи мощностью 200 м и выше разбивалась на 4 горизонта, на которые бурились отдельные группы скважин.

3. Для концентрации теплоносителя в нижней части залежи в некоторых «тройках» бурились нагнетательные скважины.

4. Первоначально принятая система отработки по схеме «сверху вниз» была заменена на схему «снизу вверх».

5. Вместо малоэффективной «кольматации» и строительства дорогостоящих противофильтрационных завес, не дававших ожидаемого эффекта, для снижения скорости всплытия теплоносителя и «оттягивания» его в низ серного пласта в погруженной части залежи бурились водоотливные скважины большого диаметра, оборудованные погружными насосами ЭЦВ-12, обеспечивающие водоотлив подземных вод в количестве не менее 70 % от количества закачанного теплоносителя.

6. С целью опреснения высокоминерализованных подземных вод в серодобычные скважины пускового блока нагнеталась холодная химически очищенная вода плотностью 0,9 г/см³ с температурой 15 – 20 °С в объеме равном 5 объемам пустот, определенных при исследовании кернов разведочных скважин.

7. Для снижения энергетических затрат и в целях экономии кондиционного теплоносителя на прогрев пласта для предварительного его прогрева в серодобычные скважины пускового блока нагнетался низкотемпературный теплоноситель с температурой 90 – 105 °С, пока температура изли-

вающейся воды из смежных скважин не достигала 50—60 °С.

8. На заключительном этапе для прогрева пласта и формирования зоны плавления в серный пласт подавался кондиционный теплоноситель с температурой 155—160 °С, а при глубине свыше 500 м — с температурой 170 °С с расчетом 500 т теплоносителя на 1 м мощности руды каждой скважины пускового блока.

9. После закачки расчетного количества теплоносителя у каждой группы скважин формируются свои зоны плавления, в которых накапливаются различные количества жидкой серы, которые, перетекая, образуют единую зону плавления.

Новая методика процесса откачки серы. Был впервые применен прием «форсированного сброса» остаточного теплоносителя из серной колонны путем подачи сжатого воздуха.

Был кардинально изменен и сам процесс откачки серы. При проведении пробных откачек по дебиту серы и часам откачки определялись притоки жидкой серы к скважинам и составлялись «Графики откачек» для каждой скважины, которые, в конечном счете, и являлись главным (регулятором) инструментом управления процессом эффективной и стабильной добычи. Кроме того, при помощи «Графика» определялся в плане и вектор сформировавшегося главного притока жидкой серы к скважинам, которые затем выводились на режим непрерывной откачки.

В результате, при проектном показателе объема добычи из скважины 3100 т серы из нескольких десятков скважин было добыто по 30 тыс. т серы и более из каждой, а из одной из них — свыше 90 тыс. т. Последняя проработала в непрерывном режиме в общей сложности свыше 9 месяцев.

Для контроля движения теплоносителя в пласте и формирования зон плавления были использованы следующие методики:

- площадная геофизическая термометрия и резистивиметрия в наблюдательных скважинах;

- изучение кернов оценочных скважин;

- фиксация провалов бурового инструмента в процессе бурения новых скважин;

- аэротермофотосъемка.

Образование и строение зон плавления. Для изучения процесса выплавки серы в пласте с помощью перечисленных способов контроля за движением теплоносителя и построенных геологических разрезов на основе данных оценочного бурения и термометрии удалось представить явления и качественные закономерности, которые протекали в пласте в процессе подземной выплавки:

- в начальный период работы скважины теплоноситель, всплывая вверх по околоствольному пространству, попадая в верхнюю часть залежи, прогревает её, проплавливая в ней наиболее проницаемые участки;

- по мере расплавления серы и ее миграции вниз по падению, в серных рудах вскрываются полости, трещины и каверны, по которым начинает двигаться теплоноситель, захватывая всё новые участки пласта;

- постепенно зона плавления приобретает форму остроконечной воронки, интенсивно вытянутой одной стороной (в виде желоба) на многие сотни метров в направлении зоны разгрузки (в карьеры);

- в нижней части пласта, вокруг забоев группы добычных скважин, образуется небольшой серный кратер, в который стекают потоки серы из верхних частей зоны плавления;

— в дальнейшем за счет взаимодействия расположенных рядом групп скважин происходит расширение кратера и превращение его в единую зону плавления, что подтверждается непрерывным графиком откачки серы из некоторых скважин и большим количеством добычи серы из одной скважины;

— при движении теплоносителя в кровле руды часть его прорывается в покрывающие руду ангидриты, интенсивно растворяя их, образуя в них огромные вертикальные техногенные полости (пещеры), вытянутые по направлению на значительные расстояния и расположенные над зонами плавления серных руд.

Экономические показатели.

1. Внедрение новых технических решений позволило повысить эффективность метода ПВС путем сниже-

ния удельного расхода теплоносителя на одну тонну добытой серы на 20%.

2. Была достигнута стабильная добыча серы в количестве 220—235 тыс. т в год.

3. Данная технология позволила добыть с глубин 450—579 м², 35 млн т высококачественной серы.

4. Себестоимость серы ПВС в 2,5 раза стала ниже себестоимости серы, полученной карьерно-автоклавным способом добычи.

5. Выработка на одного работника выросла в 2 раза и составила 328 т серы в год.

6. После аттестации и присвоения сере ПВС Знака Качества предприятие получило выход на рынки Юго-Восточной Азии: Китая, Кореи, Вьетнама, Афганистана, Пакистана, Японии и др. стран. **ИИАС**

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Высотин (Грязнухин) Валентин Евгеньевич — начальник рудника подземной выплавки серы производственного объединения «Туркменминерал».

