УДК 622.834:553.3/4

Х.И.АГЛЮКОВ
Магнитогорский государственный технический университет
А.Е.УДАЛОВ, С.Н.ЗЕЛЕНЦОВ
ФГУП ВНИМИ – Межотраслевой научный центр, Санкт-Петербург

ОТРАБОТКА МОЩНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ГРАНИЦАХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ С УПЛОТНЕННОЙ ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Предложен экономически эффективный способ отработки мощной наклонной залежи с использованием уплотненной породной закладки вместо твердеющей. Расчеты методом конечных элементов показали приемлемость предложенной технологии при подработке охраняемых объектов на земной поверхности.

Description is given to the cost-effective mining method of thick inclined deposits with using the compacted waste rock packing instead of the consolidated one. The calculations by the method of finite elements confirmed the suitability of the suggested technology in the undermining of protected natural objects, buildings and constructions on the earth surface.

Традиционный подход к отработке мощных рудных залежей в предохранительных целиках под ответственными объектами обычно связан с технологией, предполагающей твердеющую закладку выработанного пространства. Вместе с тем значительное удорожание большей части ресурсов, задействованных этой технологией за последнее десятилетие, зачастую либо исключает полностью, либо сужает возможности ее применения по экономическим соображениям. Именно такая ситуация сложилась на Саткинском месторождении магнезита. Запасы месторождения разведаны на четырех участках. На данный момент основной объем добычи приходится на открытые горные работы, доля подземной добычи составляет около 20 %. Однако дальнейшие перспективы развития сырьевой базы комбината связаны с подземной добычей. Существующие карьеры находятся фактически на стадии доработки – оставшиеся запасы карьеров менее 30 млн т. Запасы, проектируемые к отработке подземным рудником, – свыше 150 млн т магнезита категорий $B + C_1$.

В соответствии с проектом института «Уралгипроруда» (г.Екатеринбург) работа подземного рудника планируется в две очереди – на долю первой очереди приходится 35 млн т. Значительная часть запасов первой очереди находится в предохранительных целиках реки Сатка, железной дороги МПС, промплощадки Саткинского металлургического завода и заводского пруда. Запасы шахтного поля № 2 практически полностью расположены под территорией города Сатка (современная застройка).

Подземный рудник был введен в действие в 1999 г., и в настоящее время объем месячной добычи колеблется от 30 до 40 тыс.т. Рудник спроектирован на использование самоходной техники с годовой производительностью первой очереди 1,2 млн т (суммарная мощность после пуска второй очереди 2,4 млн т).

Первоначально добыча магнезита, как и предполагалось, была начата в опытно-промышленном блоке № 1 гор. +260–(+180) системами разработки с твердеющей закладкой. Залежь, отрабатываемая блоком, является продолжением рудного тела под

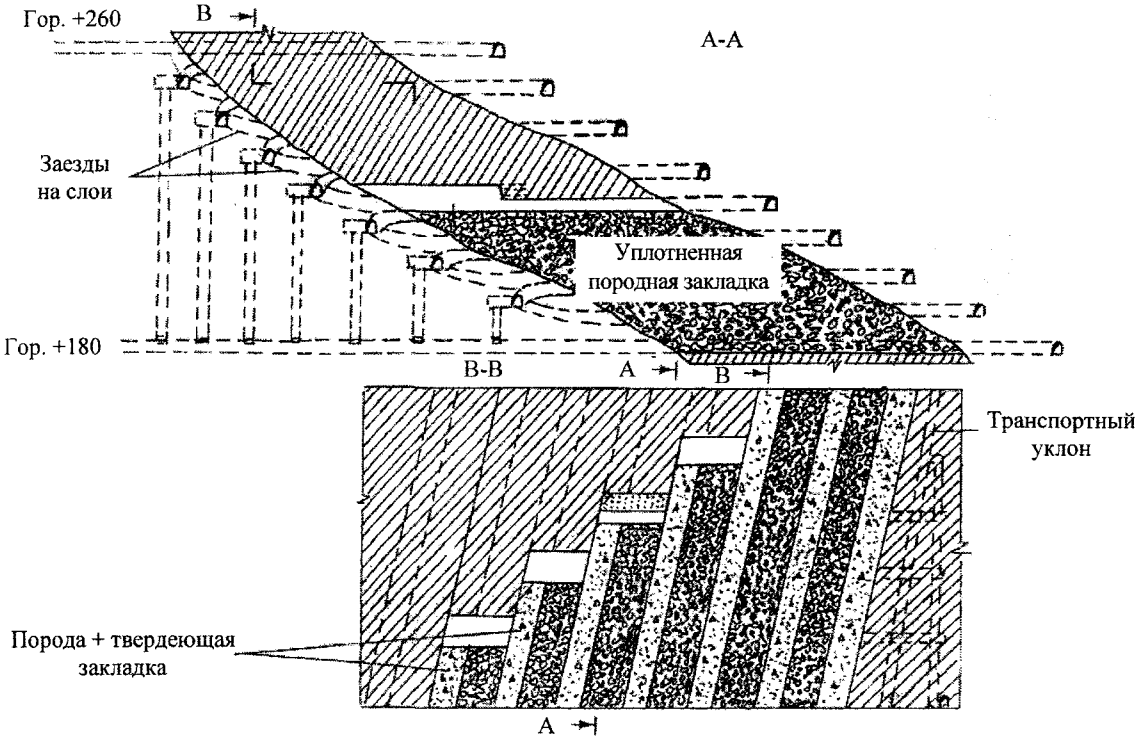


Рис.1. Принципиальная схема системы разработки с уплотненной породной закладкой

дном погашенного карьера, который в настоящий момент засыпан отвальным доломитом. Впоследствии от твердеющей закладки отказались из-за дороговизны (до 400 руб./м^3) и перешли на технологию камерно-целиковой системы с породной засыпкой выработанного пространства хвостами обогащения.

Система разработки с сухой породной закладкой, используемая в блоке, в настоящее время достаточно эффективна: низкий объем горно-подготовительных и нарезных работ – до 20 м^3/1000 т; себестоимость добычи – не более 360 руб./т; для сравнения себестоимость добычи руды на Карагайском карьере глубиной около 300 м – свыше 400 руб./т.

Основной недостаток технологии – потери в целиках – не менее 25 %. Даже в случае перехода на технологию со сплошной твердеющей закладкой решение проблемы послойной выемки целиков второй очереди будет затруднено. Практика свидетельствует, что устойчивый пролет обнажений не должен превышать 12 м при наличии естественных рудных опор, поскольку целики второй очереди не представляется возможным отрабатывать высокими камерами из-за необходимости селективной выемки, а отрабатывать послойно – камерами высотой 5 м недопустимо с точки зрения устойчивости. Подсеченная с двух боковых сторон консоль магнезита склонна к внезапному обрушению.

Проблему эффективной отработки последующих блоков месторождения можно решить с переходом на сплошную выемку магнезита с уплотненной закладкой выработанного пространства. При этой технологии предполагается отсыпка выработанного пространства сухой породной закладкой с последующим динамическим механизированным уплотнением (рис.1).

По данным геодезических наблюдений, за годовой период усадка отсыпанного уплотненного полотна толщиной 10 м (в районе железнодорожного переезда) не превысила 10 мм. Исследования остаточной пустотности, произведенные изотопным плотномером «Troxler -3440», показали, что пустотность не превышает 10 %.

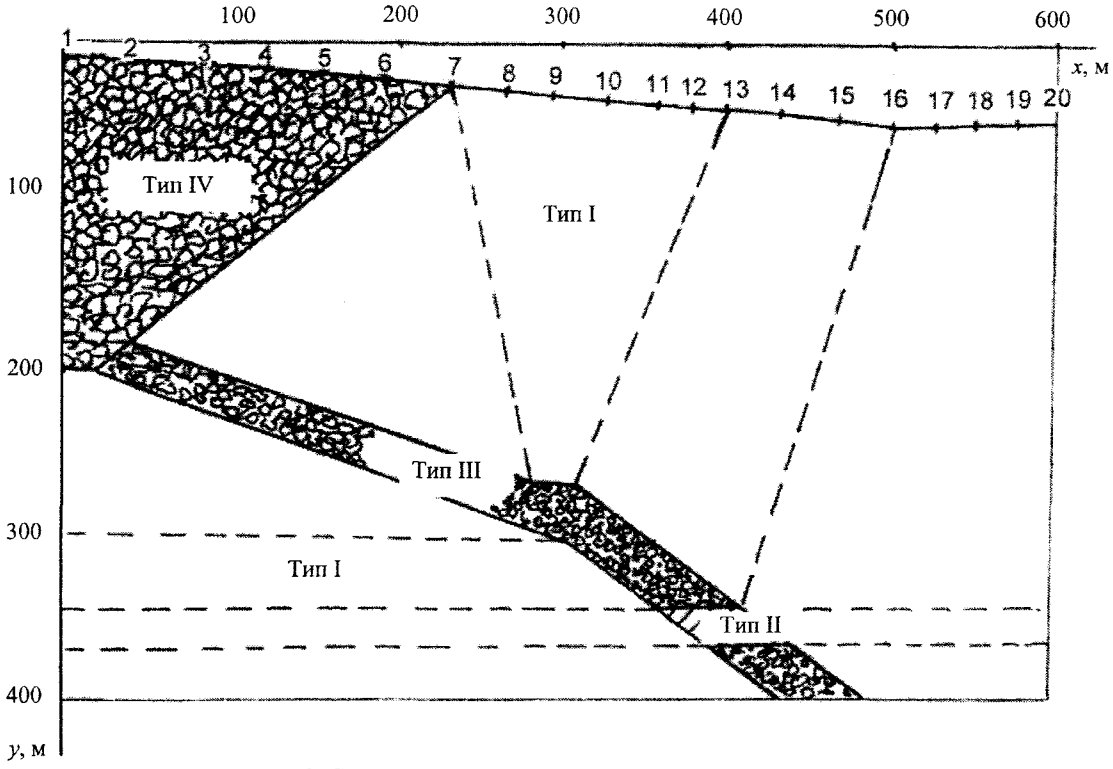


Рис.2. Схема моделирования методом конечных элементов

С целью повышения устойчивости подработанной рудной консоли рекомендуется отрабатывать ленты под углом 75-80° к вертикали. При этом часть ленты на ширину до 4 м одновременно с жесткой твердеющей смесью (доставка также МоАЗами) необходимо отсыпать дробленым доломитом с примесью глины до 20 %. Перемешивание производить в мельнице без шаровой загрузки. Такая технология обеспечит устойчивость вертикальных обнажений искусственного массива в боковой плоскости.

Расчеты оседаний земной поверхности были выполнены для условий Гологорского участка (место ведения горных работ в настоящее время), наиболее характерного геологического разреза № 22. Расчеты производились методом конечных элементов для двух вариантов: первый – с размерами блока 500×300 м (глубина – 300 м), второй – с размерами блока 600×400 м и использованием программы «Геомеханика».

В обоих вариантах расчета предполагалась сплошная отработка залежи с выходом в карьер без оставления целика под его дном – как наиболее неблагоприятный с точки зрения развития процесса сдвижения случай. В настоящее время под дном карьера оставлен целик 20 м, размеры которого планируется уменьшить. В соответствии со схемой моделирования Гологорский карьер отработан и засыпан отвальным доломитом (рис.2). В модели приняты четыре типа состояния горного массива (табл.1).

Таблица 1

Типы массива в модели и его основные свойства

Тип	Содержание массива	γ, кН/м³	*E*, МПа	μ	$\sigma_{сж}$, МПа	φ	*C*, кПа
I	Доломит	29	92000	0,29	192	40°	13000
II	Магнезит	29	8300	0,25	110	40	8000
III	Уплотненная закладка	22-24	200 и 300	0,2	0	42	0
IV	Щебень карьера	16	50	0,2	0	42	0

Примечание. γ – объемный вес; *E* – модуль упругости; τ – коэффициент Пуассона; $\sigma_{сж}$ – прочность на одноосное сжатие; φ – угол внутреннего трения; *C* – сцепление пород.

С целью выявления давления в опорной зоне при максимальном развитии парамет-

ров подработки во второй расчетной схеме предполагалось оставление 20-метрового рудного целика (рис.2). В расчетах модуль упругости в уплотненной породной закладке был принят равным 200 и 300 МПа, с двухтрехкратным запасом. Фактический модуль упругости уплотненной скальной закладки составляет свыше 700 МПа.

Результаты расчета оседаний породной засыпки в карьере и прибортовой зоне карьера в зоне влияния подземных горных работ представлены в табл.2. Максимальное оседание налегающего массива (консольного типа) зафиксировано на интервале от 7-й до 20-й точки (рис.2). Расчетное максимальное оседание не превышает 0,429 м, а максимальные деформации растяжения между 15-й и 16-й точками – не более 1,5 мм/м (при двухкратном запасе).

Таблица 2

Результаты расчета оседаний (усадки) земной поверхности в блоке 600 × 400 м

Номер точки	Усадка	Номер точки	Усадка
1	0,680 / 0,488	11	0,319 / 0,258
2	0,629 / 0,497	12	0,276 / 0,222
3	0,713 / 0,515	13	0,236 / 0,191
4	0,727 / 0,535	14	0,182 / 0,150
5	0,713 / 0,533	15	0,135 / 0,115
6	0,659 / 0,504	16	0,095 / 0,081
7	0,533 / 0,429	17	0,084 / 0,071
8	0,476 / 0,383	18	0,077 / 0,065
9	0,417 / 0,337	19	0,074 / 0,063
10	0,367 / 0,294	20	0,074 / 0,062

Примечание. Параметры закладки: в числителе – щебень, 2,1 т/м^3, E = 200 МПа, в знаменателе – щебень, 2,2 т/м^3, E = 300 МПа.

Выбранная схема расчетов оседаний соответствует наиболее опасному варианту – с «удалением» целика под дном карьера и консольным типом зависания подработанного массива. Тем не менее, даже при такой неблагоприятной схеме деформирования искусственный массив, возведенный методом механизированного динамического уплотнения, исключает развитие опасных деформаций земной поверхности даже в условиях полной подработки. Коэффициент концентрации напряжений в опорном рудном целике не превышает 1,5γH.

Выводы

1. Технология сплошной выемки руд с уплотненной породной закладкой выработанного пространства в сочетании с твердеющей смесью в объеме до 10 % позволяет отрабатывать запасы месторождений в охранных целиках под ответственными объектами. Использование уплотненной закладки значительно расширяет возможности технологии и существенно повышает безопасность работ. Коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления не превышает 1,5γH. Главное достоинство технологии горных работ состоит в возможности отказаться от дорогостоящих закладочных комплексов, использовать сравнительно дешевый подземный самоходный транспорт, при этом уплотненный искусственный массив является весьма эффективным средством управления давлением налегающих пород.

2. Закладочный массив начинает воспринимать давление налегающего массива при подработке уже 30-50 м висячего бока, что значительно меньше, чем при традиционной технологии с твердеющей закладкой.

3. Технология отработки месторождения с возведением высокоплотной породной закладки существенным образом снижает сдвижение земной поверхности. При достижении полной подработки земной поверхности даже при самой неблагоприятной схеме сдвижения прогнозируемое максимальное оседание земной поверхности не превысит 0,425 м (расчеты с двухкратным запасом надежности). Максимальные деформации растяжения земной поверхности – не более 1,5 мм/м. При отработке мощных рудных залежей данная технология ведения горных работ позволяет подрабатывать объекты высшей категории охраны с высокой полнотой извлечения запасов.