



УДК 622.458

А. М. ГАЙДИН, канд. геол.-мин. наук

Отделение горно-химического сырья Академии горных наук Украины, г. Львов

ЗАТОПЛЕНИЕ КАЛИЙНОЙ ШАХТЫ

В связи с аварийным состоянием Стебницкого калийного рудника № 2 и нерентабельностью добычи калийной руды принято решение о консервации шахты. Проектом предусмотрено затопление шахты насыщенным раствором и гидравлическая закладка карстовых пустот, что должно обеспечить устойчивость выработок и предупредить провалы поверхности. Однако вследствие недостаточного финансирования выполнение проектных работ отстает от графика. Происходит самозатопление шахты. В статье даны результаты прогноза экологических последствий затопления, и рекомендуются меры предупреждения опасности.

шахта, затопление, растворение, провал, озеро

Проект и реальность. Стебницкое государственное предприятие «Полиминерал» состоит из двух подземных калийных рудников. Рудник № 2, построенный в 1965 г., с 1978 г. находится в аварийном состоянии. В шахту поступает вода из надсолевого водоносного горизонта, что сопровождается развитием карста, провалами поверхности. В январе 2001 г. вследствие отключения энергоснабжения выработки самого глубокого 5-го горизонта

были затоплены. Государственная комиссия по чрезвычайным ситуациям приняла решение о консервации шахты¹, учитывая возможность в будущем отработки запасов калийной руды методом выщелачивания.

Было рассмотрено два варианта консервации: 1) закладка выработок твердым материалом; 2) затопление шахты насыщенным рассолом. Возможность поддержания выработок соляных шахт в устойчивом состоя-

¹ По существу, консервируются запасы калийной руды, а шахта как таковая ликвидируется

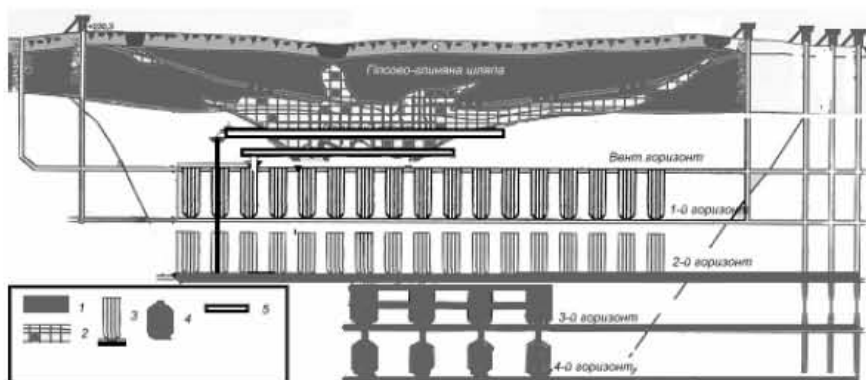


Рис.1. Схематический разрез рудника № 2

1 – гипсово-глинистая шляпа, 2 – зона соляного карста, 3 – камеры сухие, 4 – камеры затопленные, 5 – дренажные выработки.

нии путём их затопления насыщенным рассолом научно обоснована Я. М. Семчуком [1], который показал, что в результате воздействия Архимедовой силы запас устойчивости целиков увеличивается в два раза. Опыт затопления калийной шахты Ново-Голынь в г. Калуше подтверждает эффективность этого метода. С учетом явных экономических преимуществ принят второй вариант консервации.

Насыщенный рассол предусмотрено готовить из отходов обогащения калийной руды, накопленных в хвостохранилище в количестве 8,4 млн м³. Это позволит не только удерживать выработки в стабильном состоянии, но и обезвредить отходы, которые являются источником засоления гидросети.

Институт горно-химической промышленности разработал проект консервации, который после всесторонней экспертизы утвержден Кабинетом Министров Украины. Сметная стоимость работ, включая затраты на решение социальных проблем, составила 162 млн грн. Однако реализация проекта вследствие недостатка средств задерживается. Продолжается затопление рудника агрессивной водой карстового водоносного горизонта, распространенного в зоне выщелачивания верхней части соляных зале-

жей (рис.1). Приток воды составляет около 1000 м³/сут и ежегодно увеличивается на 3–4 %. Это вызывает опасность разрушения целиков и обвала шахты.

Поток воды надсолевого водоносного горизонта вдоль кровли солей приводит к образованию карстовых пустот. На поверхности образуются провалы диаметром до 50 м. Это создает опасность для находящихся над карстовыми пустотами хозяйственных объектов: дороги Львов-Трускавец, линий электропередач, водопроводов.

Дальнейшее самозатопление обостряет угрозу чрезвычайных ситуаций.

Каковы варианты дальнейших действий?

Вариант 1. Продолжать работы согласно проекту без гарантии, что не будет провала. Это может привести к тому, что, потратив около 100 млн грн, в результате все равно получим провал и дополнительные убытки.

Вариант 2. Разработать способ безопасного затопления шахты ненасыщенным рассолом. Этот вариант в сложившихся условиях может быть единственно рациональным. Отсюда цель наших работ – обосновать способ ликвидации шахты без негативных экологических последствий при минимальных затратах средств и времени.

В рамках поставленной цели проведены следующие исследования:

- исследование динамики затопления рудника, движения рассолов и растворения солей в горных выработках;
- исследование закономерностей развития соляного карста;
- прогноз развития деформаций поверхности, обусловленных карстом;
- оценка места и размеров провалов поверхности вследствие разрушения целиков;
- оценка экологических последствий провалов.

Комплекс проведенных исследований составляет основу для предложений по пересмотру проекта консервации рудника.

Самозатопление рудника. Прорыв воды в рудник № 2 случился в октябре 1978 г. на контакте рудных залежей с соленосными брекчиями. Для перехвата воды были пройдены дренажные выработки в пятидесятиметровой защитной потолочине на горизонтах 215 м и 240 м. Изменения притока воды во времени характеризует рис. 2.

Как видно из графика, наблюдается постоянное увеличение водопитока от 500–600 до 900–1100 м³/сут. В период с 1985 по 2005 г. зависимость притока от вре-

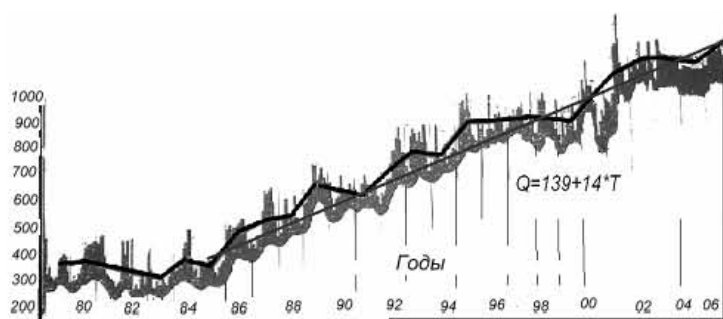


Рис. 2. График водопитока в рудник № 2



мени можно интерпретировать прямой линией $Q=Q_0+c \cdot T$, где Q_0 – приток в 1985 г., 139 тыс. м³/год, T – количество лет с 1985 г., c – ежегодный прирост притока, 14 тыс. м³/год. До 2001 г. рассол из шахты сбрасывали в хвостохранилище. На протяжении 2001 г. была создана система отведения воды из зумпфов на дренажных горизонтах в выработки 4-го горизонта.

С января 2002 г. началось затопление 4-го, а затем 3-го горизонтов. На этих горизонтах целики имеют большой запас прочности, и затопление не представляет опасности. По состоянию на конец 2006 г. в рудник поступило 1780,6 тыс. м³ рассолов. Вода поднялась до горизонтальных выработок второго горизонта, где камеры имеют ширину 15 м, а целики – 12 м. Проведенными нами расчётами показано, что осенью 2007 г. вода достигнет основания целиков, и возникнет угроза их растворения и обвала. С этого момента работа людей в шахте становится небезопасной, и система отведения дренажных вод перестанет действовать. Поток воды станет неуправляемым, возникнет опасность растворения и разрушения целиков, обвала покрывающих пород.

Движение воды в горных выработках. Исследования закономерностей движения воды при затоплении шахт проведены нами впервые. В режиме течения воды в горных выработках целесообразно выделять стадии безнапорного и напорного движения. В безнапорной стадии вода движется в выработках как в открытых каналах.

При затоплении одиночной тупиковой выработки постоянного сечения расход протекающей воды Q уменьшается обратно - пропорционально расстоянию от точки налива x по закону:

$$Q = Q_0 \cdot (L-x)/L,$$

где Q_0 – расход воды в месте налива,
 L – длина выработки.

В конце выработки, где $x=L$, расход равен нулю.

В произвольной разветвлённой системе выработок (рис.3) часть расхода в любом сечении потока равна отношению площади горизонтального сечения выработок ниже по течению f к общей площади горизонтальных выработок F . Расход потока q в любом сечении определяется из формулы:

$$q = Q_0 \cdot f/F.$$

После затопления горизонтальных выработок до кровли наступает стадия режима, которая характеризуется напорным движением в горизонтальных выработках и безнапорным восходящим движением в камерах. Движение растворителя осуществляется преимущес-

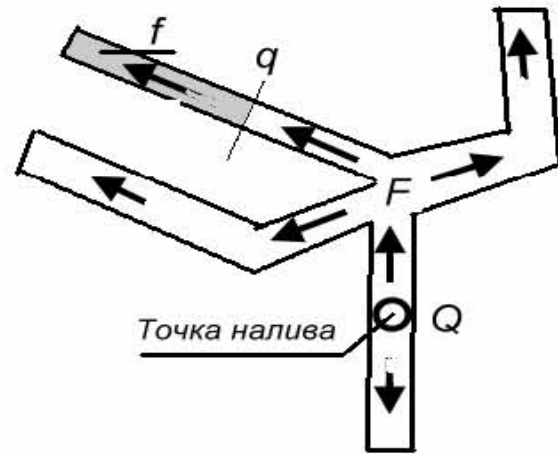


Рис. 3. Течение жидкости в разветвлённой системе выработок

твенно по штрекам. Из них через орты рассол поступает в камеры. Скорость V подъема уровня в камерах равна отношению расхода к площади горизонтального сечения всех камер. Она одинакова для всех камер, поскольку уровни рассолов в камерах отличаются незначительно. Расход восходящего потока Q_i в каждой камере равняется:

$$Q_i = V \cdot S_i,$$

где S_i – площадь горизонтального сечения камеры с номером i . Расход рассола Q в подводящих штреках определяется формулой:

$$Q_i = Q_0 \cdot \Sigma S_{ni} / \Sigma S_n,$$

где Q_0 – суммарный расход, ΣS_n – сумма площадей всех камер, ΣS_{ni} – сумма площадей камер от i до n , где n – число камер. Из формулы видно, что расход и скорость потока в горизонтальных выработках уменьшается по мере удаления от места подачи растворителя. По мере продвижения от камеры к камере расход уменьшается на величину $q = V \cdot S_i$. Таким образом, расход Q_i в любом сечении штрека под целиком с номером i составляет $Q_k = q_0 \cdot (1-i/n)$, где n – число камер.

Установленные закономерности позволяют составить гидродинамическую карту, отражающую движение воды при затоплении шахт.

Влияние плотности рассола на движение растворителя. При подаче растворителя в нижнюю часть сосуда, заполненного жидкостью, имеющей большую плотность, растворитель поднимается вверх и расплывается по поверхности рассола. Для демонстрации этого явления проведена серия опытов. Были приготовлены растворы соли с плотностью 1,05; 1,1; 1,15; 1,2 г/см³.

В сосуд, заполненный рассолом, снизу подавали подкрашенную пресную воду. Опыты показали, что во всех случаях более пресная вода поднимается вертикальной цилиндрической струёй вверх и расплывается поверху. Из этого следует вывод, что подача ненасыщенного раствора в нижнюю часть потока не меняет пути его распространения.

Динамика растворения. Растворение солей зависит от ориентации поверхности и явления гидроизоляции поверхностей нерастворимыми примесями [2]. На поверхности соли образуется слой насыщенного раствора, который под влиянием гравитации стекает вниз. На потолочине выработок насыщенный раствор проявляется в виде капель и струй, что приводит к турбулизации среды. Поэтому кровля растворяется приблизительно вдвое быстрее, чем вертикальная стенка. По экспериментальным данным Я. М. Семчука [1] скорость растворения каинитовой породы в пресной воде равна 4,8 кг/час, что соответствует 5,2 см в сутки. Скорость растворения V в ненасыщенном рассоле пропорциональна дефициту насыщения:

$$V = V_0 * (C_n - C) / C_n,$$

где V_0 – скорость растворения в пресной воде, C_n – концентрация насыщенного раствора, C – содержание солей в ненасыщенном рассоле.

Оценим скорость растворения калийной руды в рассоле дренажного горизонта. Концентрация насыщенного по отношению к калийной руде раствора составляет 420 г/л, а содержание соли в воде дренажного горизонта 230 г/л. Скорость растворения:

$V = 5,2 * (420 - 230) / 420 = 2,35$ см/сут. За год может раствориться 8,6 м, то есть при омывании целика рассолом дренажного горизонта он может быть разрушен уже на протяжении первого года после затопления.

Влияние нерастворимых примесей определяется тем, что поверхности, наклоненные под углом, меньшим угла внутреннего трения осадка, покрываются нерастворимыми примесями и изолируются от растворителя.

Числовая модель. Вблизи от места подачи раствора в горные выработки растворение идёт с наибольшей скоростью, а потом замедляется ввиду повышения содержания солей и уменьшения расхода. Для иллюстрации проведены расчёты растворения солей при движении воды в круглой горизонтальной выработке с начальным радиусом 2 м. Результаты расчёта увеличения радиуса выработки представлены на графике (рис. 4). Как видно из рисунка, быстрее всего выработка расширяется у места подачи растворителя, причём расширение ускоряется со временем. На расстоянии 100 м от точки ввода рас-

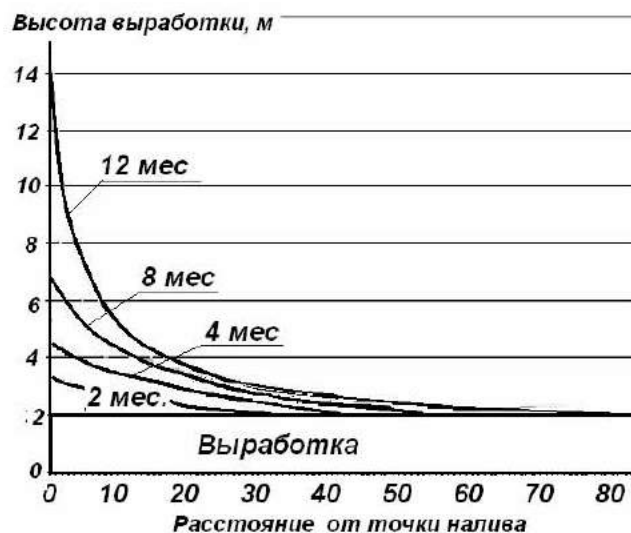


Рис. 4. Растворение потолочины горизонтальной выработки пресной водой

творение затухает. Это объясняется тем, что здесь со временем увеличивается поверхность растворения, тогда как скорость движения раствора снижается.

Первоначально круглое сечение выработки превращается в параболическое. Так развивается процесс в том случае, когда скорость затопления выработки превышает скорость растворения. При обратном соотношении скорость растворения кровли выработки равна скорости поднятия уровня растворителя, тогда как боковые поверхности растворяются в обычном режиме. При этом выработка приобретает форму треугольника со сторонами, наклонёнными под углом, определяемым условием сползания нерастворимого осадка.

Физическая модель. Для наглядного представления в процессе движения растворителя и растворении целиков была создана физическая модель в масштабе 1:100. Вместо калийной руды приготовили смесь из поваренной соли и глины в соотношении 3:1. Пресную воду подавали в штек в левой части модели. Развитие зон растворения иллюстрируется фотографиями (рис. 5), где видно, что растворение быстрее всего происходит в первой от места подачи воды камере. Во второй камере растворение происходит медленнее, а в третьей почти не наблюдается, поскольку растворитель успевает насытиться солями. Нижняя часть камеры покрывается нерастворимым осадком, который ложится под углом 45°. После растворения половины толщины целика в нем образовалась трещина, обеспечившая перетекание растворителя из первой камеры во вторую. В то же время орты в первой и второй камерах заполнились нерастворимым осадком. Физическая модель подтвердила допущения, что разрушение целиков наиболее вероятно на входе растворителя.

Оценка устойчивости кровли. Пласты калийных руд Стебницкого месторождения залегают почти верти-



кально. В восточной части месторождения отработаны пласты «Основной» и «10СВ», чья мощность достигает 200 м. В западной части мощность пластов не превышает 25 м. Система отработки на всех пластах одинакова: камеры шириной 15 м расположены вкрест простирания пластов и разделены целиками шириной 12 м.

Чтобы определить возможные размеры провала, проведены расчеты устойчивости кровли полости, которая образуется при разрушении целиков. Коэффициент запаса прочности n определяется формулой [3]:

$$n = (0,45 \cdot R \cdot Z) / ((1+Z/h) \cdot b^2 \cdot \gamma),$$

где R — сопротивление породы сжатию, Z — мощность кровли, h — мощность наносов (ГГШ), b — ширина пролёта, γ — удельный вес пород. Условием разрушения кровли является $n=1$. При этом условии наибольший пролёт, который выдержит кровля, равен:

$$b^2 = (0,45 \cdot R \cdot Z) / (1+Z/h) \cdot \gamma.$$

При $R=82 \cdot 10^4$ кг/м², $Z=50$ м, $h=100$ м, $\gamma=2200$ кг/м³, получим $b=53$ м. Отсюда следует, что провал поверхности из-за разрушения целиков возможен только над камерами длиной больше 53 м. Такие камеры находятся в восточной части шахтного поля. В западной части длина камер не больше 40 м, и тут кровля останется устойчивой даже при разрушении всех целиков.

Оценка размеров провала. Площадь части шахтного поля с целиками длиннее 50 м составляет 400х600 м²; суммарная высота выработок первого и второго горизонтов — 104 м, объем камер 8,7 млн м³. При обвале целиков, обломки которых частично заполняют камеры, здесь образуется провал глубиной 60 м. После этого края провала обрушатся, и образуется мульда с бортами, наклоненными приблизительно под 45°. Объем мульды

$$V = v \cdot K_1 / K_2,$$

где v — объем камер, 8,7 млн м³, K_1 — коэффициент заполнения камер, K_2 — коэффициент разрыхления покрывающей толщи. При $K_1 = 0,7$ и $K_2 = 1,3$, $v=4,7$ млн м³. Таким образом, при разрушении целиков может образоваться выемка глубиной по центру до 60 м размером в плане около 500х700 м². На месте провала образуется озеро.

Параметры озера. Уровень воды в озере установится в месте с наименьшей высотной отметкой внешнего контура провала. Химический состав озерной воды зависит от того, когда произойдет обрушение. Если шахта еще не будет заполнена рассолом, тогда сначала в выемке не будет воды, и она будет затапливаться атмосферными

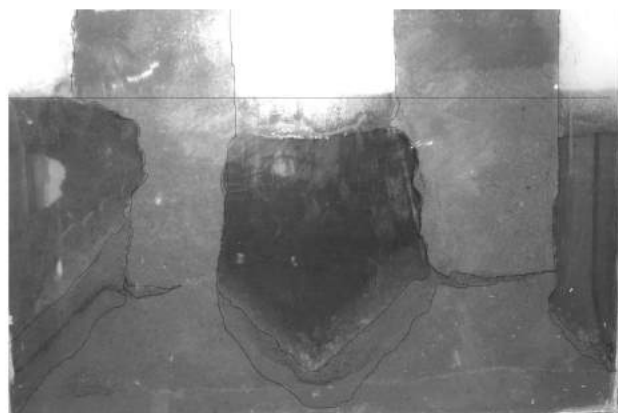


Рис. 5. Растворение целиков пресной водой

ми осадками. Озеро будет пресным. В районе Стебника среднегодовые осадки составляют 886 мм, а испарение с водной поверхности 330 мм. Избыток воды — 556 мм. На площадь водозабора озера будет ежегодно поступать 195 тыс. м³ воды. Срок затопления — более 20 лет.

В другом случае, если провал произойдет, когда шахта будет уже затоплена, обрушенные породы вытеснят из камер рассол, который и заполнит ёмкость. В этом случае озеро будет соленым. Со временем вода будет опресняться за счет разбавления атмосферными осадками. Для рекреационного использования соленое озеро более привлекательно, поскольку может использоваться для лечения, как это практикуется в г. Солотвине.

Возможные убытки от провала. На площади, где по прогнозам может образоваться провал, отсутствуют ценные хозяйственные сооружения и коммуникации за исключением линий электропередачи ЛЭП-35, которая питает г. Трускavec. Поэтому для предотвращения повреждения линии необходимо перенести ее за границы мульды проседания поверхности. Специалисты побаиваются, что провал вызовет сейсмический удар, который навредит выработкам рудника № 1. Однако исследованиями ведущего в отрасли соляных дел института «ВНИИГ» (Всесоюзный научно-исследовательский институт галургии, г. Санкт-Петербург) установлено [2], что соляные отложения отличаются пластичностью; им свойственны следующие особенности сдвижения земной поверхности:

- продолжительность процесса оседания;
- быстрое формирование плоского дна мульды оседания;
- увеличение скорости оседания по мере истощения критических деформаций;
- равенство конечных оседаний земной поверхности;
- пологие крайние части сдвига мульды.

Это подтверждается примером обвала шахты в Германии, где провальная воронка формировалась на

протяжении 25 лет. Поэтому боязнь, что обвал вызовет сейсмический удар и землетрясение, необоснованна.

ВЫВОДЫ

Установленные закономерности движения рассолов и динамики растворения разрешают осуществить управление растворением и определить место провала.

Продолжение самозатопления рудника № 2 может привести к растворению целиков и образованию провалов в районе пласта № 10 С-В. Возможная площадь провала – 500х700 м при глубине 60 м. На месте провала образуется глубокое озеро. Качество воды в озере зависит от количества накопившихся рассолов в шахте на момент провала.

На площади вероятного провала отсутствуют ценные хозяйственные объекты, поэтому провал не вызовет существенных убытков. Сравнение затрат на консервацию шахты с возможными убытками при провале показывает, что последние – на порядок меньше, чем затра-

ты на их предупреждение. В то же время образование озера на месте провала создаст дополнительные возможности развития расположенного рядом с шахтой курорта Трускавец. Провал части выработок не исключает возможности добычи и переработки рассолов.

Таким образом, управляемый провал – самый экономически выгодный и экологически благоприятный метод ликвидации шахты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семчук Я. М. Научные и методические основы охраны геологической среды в районах разработки калийных месторождений. Диссертация на присвоение степени доктора технических наук. Ивано-Франковск – 1995.
2. Пермяков Р. С., Романов В. С., Бельды М. П. Технология добычи солей. М.: Недра, 1981, – С. 48.
3. Шашенко А. Н., Майхерчик Т., Сдвижкова Е. А. Геомеханические процессы в породных массивах. Днепропетровск, 2005. – С. 237.

У зв'язку з аварійним станом Стебницького калійного рудника № 2 і нерентабельністю видобутку калійної руди прийнято рішення про консервацію шахти. Проектом передбачено затоплення шахти насиченим розчином і гідравлічна закладка карстових порожнин, що забезпечує стійкість виробок та попереджує провали поверхні. Однак внаслідок недостатнього фінансування виконання проектних робіт відстає від графіку. Здійснюється самозатоплення шахти. У статті надаються результати прогнозу екологічних наслідків самозатоплення, і рекомендуються заходи з попередження небезпеки.

Owing to the emergency state of the potassium mine No.2 in Stebnyk and unprofitability of potassium extraction there was taken a decision to conserve the mine. The project stipulates flooding of the mine with saturated solution and hydraulic stowing of karsts reservoirs that should provide stability of mine working and prevent caving of ground surface. However, due to insufficient financing, the design works are behind of schedule. There is a self-flooding of the mine. The article results forecast of environmental consequences of self-flooding and recommends measures to prevent the danger.