Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXI, вып. 1, 1972 г.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗМЕРОВ УСТОЙЧИВЫХ ПРОЛЕТОВ РАССОЛЬНЫХ КАМЕР

(для условий Яр-Бишкадакского рассолопромысла)

В. С. Романов

На Яр-Бишкадакском промысле залежь каменной соли мощностью 200—700 *м* при мощности покрывающих пород 500—600 *м* отрабатывают подземным растворением через скважины с поверхности. Разработку ведут индивидуальными вертикальными камерами, диаметр которых, в соответствии с проектом, равен 100 *м*. Из-за несвоевременного контроля результатов размыва бывают отступления от проекта. иногда диаметры камер достигают 160—190 *м*, поэтому неясно, насколько фактические обнажения выработок отвечают требованиям устойчивости. Отсутствие в настоящее время сдвижений поверхности, а также больших вывалов в камерах, связанных с прекращением работы скважин, еще не является достаточной гарантией безопасности дальнейшей разработки, так как длительность эксплуатации камер (3—15 лет) непродолжительна по сравнению с общим сроком их службы (50—80 лет). В результате возникает необходимость прогноза устойчивости пород и определения предельно допустимых пролетов рассольных выработок.

Следует заметить, что работа потолочин рассольных камер, в сравнении с шахтной выемкой, отличается известной спецификой, которая прежде всего обусловлена определенной последовательностью размыва залежей и наличием постоянного подпора со стороны заполняющего выработки рассола. Отработка камер начинается с размыва у почвы соляной залежи щелевой полости — гидровруба, ширина которого обычно приближается к проектному диаметру камер, а высота составляет 3—5 *м*. После создания гидровруба и начала эксплуатационных работ высота камеры увеличивается в основном за счет растворения потолка при отработке соляной залежи почти на всю ее мощность (за исключением потолочного целика). При такой последовательности размыва в работе потолочин рассольных камер можно выделить три этапа.

Первый соответствует подготовительному размыву — созданию гидровруба (рис. 1), когда обнажение кровли камер по мере размыва постепенно увеличивается до размеров, обеспечивающих заданную производительность рассолодобычи. В этот период, в связи с большой глубиной работ, условия устойчивости кровли наименее благоприятны, что повышает вероятность обрушений.

Второй соответствует эксплуатационному размыву, когда растворяемая потолочина является как бы забоем камеры. По мере роста высоты камеры (уменьшения глубины работ) напряженное состояние пород кровли становится более благоприятным и их устойчивость повышается.

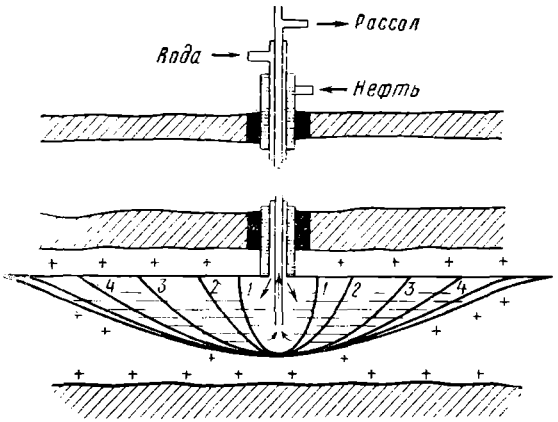


Рис. 1. Схема формирования подготовительного гидровруба. Кривые *1—4* показывают последовательность размыва

Третий этап — стадия консервации. При этом оставляемая в кровле камер часть соляного массива (потолочный целик) выполняет функции защитной толщи, предохраняя надсолевые породы от обрушений, или водозащитной толщи при наличии в кровле залежи водоносных горизонтов.

Устойчивость кровли рассольных камер на каждом этапе размыва требует специального рассмотрения. Мы ограничились наиболее ответственным — подготовительным этапом размыва, когда соляная залежь на наибольшей глубине растворения оказывается подработанной на больших площадях.

Устойчивость кровли рассольных камер при подготовительном размыве исследовалась на моделях из эквивалентных материалов. Исследования выполнялись для условий Яр-Бишкадакского рассолопромысла, и эквивалентный материал подбирался исходя из показателей прочности соли этого месторождения. Чтобы размеры моделей для глубин 1300 *м* и диаметра камер порядка 100 *м* не превосходили практически возможные в лабораторных условиях размеры стендов, моделирование производилось в масштабе 1 : 600.

Создание гидровру бов на моделях осуществлялось в соответствии с рис. 1, т. е. постепенным увеличением пролета обнажения. На всех этапах создания гидровруба давление рассола воспроизводилось с помощью специальных пластин, прижимаемых к кровле с постоянным усилием.

Модели изготовлялись двух типов — слоистые и неслоистые, и на них исследовалось влияние глубины разработки, величины противодавления, а также слоистости соляного массива на размеры устойчивых пролетов гидровруба. Устойчивость пролетов различных размеров оценивалась по величине опусканий кровли, замеряемых индикаторами часового типа. За допустимое принималось значение пролета, отвечающее началу значительных опусканий, связанных с появлением в кровле трещин.

Для выяснения влияния глубины работ на устойчивость кровли рассольных камер были отработаны три модели для глубин 600, 900 и 1300 *м*. Установлено, что устойчивость кровли с глубиной снижается; это снижение можно оценивать коэффициентом, учитывающим глубину работ $K_{гл}$, т. е. отношением допустимых пролетов камер на рассматриваемой глубине H_i к пролету на глубине 600 *м*. (До глубин 600 проявления горного давления при разработке солей обычно не существенны, и коэффициент $K_{гл}$ можно принять равным единице). Зависимость коэффициента $K_{гл}$ от глубины работ, полученная при опытах, может быть представлена эмпирической формулой

$$K_{гл} = 1{,}35 - 0{,}35\frac{H_i}{H_{600}}. \qquad (1)$$

Влияние противодавления изучалось при испытании двенадцати моделей, отвечающих наибольшей глубине 1300 *м*. Испытания проводились при различных величинах противодавления — отношения $\frac{p}{\gamma H_i}$ (p — давление рассола на кровлю камер). Основные исследования были выполнены на шести неслоистых моделях, имитирующих однородный массив; для них отношение $\frac{p}{\gamma H_i}$ принималось в пределах от 0 до 0,3.

Устойчивость слоистого массива изучалась на моделях из слоев различной толщины: 0,5 *см* (две модели); 2,0 *см* (две модели); 5,0 и 10,0 *см* (по одной модели). Для сокращения объема экспериментов отношение $\frac{p}{\gamma H_i}$ у слоистых моделей изменялось в меньшей степени — от 0 до 0,2.

Моделирование показало, что при наличии противодавления устойчивость кровли повышается, и это можно оценить коэффициентом противодавления $K_{пр}$ — отношением размеров пролета камер с противодавлением к пролетам без противодавления. Величина $K_{пр}$ практически не зависит от строения кровли и определяется лишь величиной противодавления. Полученная при моделировании зависимость $K_{пр}$ от величины противодавления $\left(\text{отношения } \frac{p}{\gamma H_i}\right)$ может быть выражена эмпирической формулой

$$K_{пр} = 1 + 4\frac{p}{\gamma H_i} + 80\left(\frac{p}{\gamma H_i}\right)^2 \qquad (2)$$

Испытания слоистых моделей и их сравнение с моделями без слоев позволили оценить влияние строения соляного массива на размеры устойчивых пролетов. При анализе опытов оказалось, что устойчивость пролетов при слоистом массиве снижается и это снижение можно учесть коэффициентом слоистости $K_{сл}$ — отношением размеров пролетов при слоистой и неслоистой кровле. Этот коэффициент зависит от толщины слоев кровли и может быть вычислен по приближенной формуле

$$K_{сл} = 1 - \frac{1{,}95}{m + 1{,}95}, \qquad (3)$$

где m — мощность слоя, *м*.

Формулы (1)—(3), полученные по данным моделирования, позволили подойти к расчету устойчивых пролетов рассольных камер исходя из решения Риттера. Устойчивый пролет

$$L = 3{,}3\,\frac{\sigma_{разр}}{\gamma} K_{гл} K_{пр} K_{сл}, \qquad (4)$$

где $\sigma_{разр}$ — предел прочности каменной соли на разрыв, *кг/см²*; γ — объемный вес соляных пород, *т/м³*.

По этой формуле произведены расчеты для камер Яр-Бишкадакского промысла. Противодавление на потолочину определялось из высоты столба рассола до устья скважины (без учета избыточного давления), т. е.

$$p = \gamma_р H,$$

где $\gamma_р$ — объемный вес рассола, равный 1,2 *т/м³*

Показатель длительной прочности был принят по испытаниям увлажненных в рассолах образцов соли Яр-Бишкадакского месторождения ($\sigma_{дл} = 80$ *кг/см²*). Результаты расчетов для глубин 700—1300 *м* и различной мощности слоев кровли представлены на рис. 2.

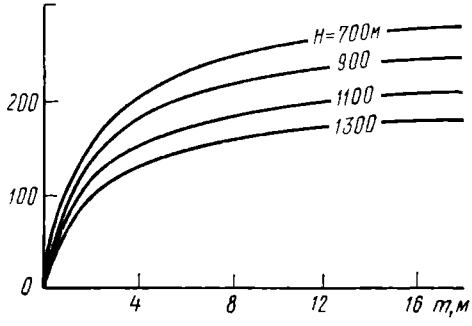


Рис. 2. График зависимости допустимых пролетов рассольных камер от глубины работ и мощности слоев кровли

При известном строении соляного массива по рис. 2 можно определить размеры устойчивых пролетов рассольных камер. К сожалению, при подземном растворении установить строение соляного массива довольно трудно и возможна лишь ориентировочная оценка по данным бурения скважин (анализ керна и шлама, гамма-каротаж), а также анализа обрушений в рассольных камерах. По этим данным для условий Яр-Бишкадакского промысла выяснено следующее.

Каменная соль, намеченная к растворению, как правило, представлена однородным неслоистым массивом. Для такого массива и глубин, характерных для промысла, размер рассольных камер (их пролет) может быть допущен, согласно рис. 2, в пределах от 150 *м* (глубина 1300 *м*) до 250 *м* (глубина 700 *м*), т. е. больше предусмотренного проектом. Такой результат подтверждается практикой Яр-Бишкадакского промысла, где на глубинах 800—900 *м* имеются устойчивые камеры с пролетом 170—190 *м*, и согласуется с опытом других промыслов, например Славянского, где на глубинах 600—700 *м* имеются устойчивые камеры с пролетами, приближающимися к 200 *м*.

В ряде случаев — на контактах с подстилающими и покрывающими породами, а также с породными включениями — соль разделена на слои глинистоангидритовыми прослоями; минимальная мощность слоев зафиксирована при бурении в пределах 0,1—0,15 *м*.

Для таких участков устойчивый пролет, согласно рис. 2, не превышает 10—14 *м*, т. е. при диаметре 100 *м* размыв камер неизбежно связан с обрушениями кровли. Действительно, в эксплуатируемых каме-

рах при размыве участков переслаивания соли происходят обрушения кровли, сопровождающиеся закупоркой труб, выносом на поверхность шлама и отдельных кусков породы и соли, содроганием труб и скачкообразным повышением давления рассола. В отдельных случаях обрушения кровли вызывают деформацию или даже обрыв части колонны труб, т. е. временные аварийные остановки размыва. Остановки размыва отмечаются при диаметре камер свыше 20 *м* и связаны с обрушениями кровли на высоту более 3—4 *м*. Помимо угрозы для труб обрушения кровли вызывают временную потерю управления процессом растворения (нерастворитель уходит в полости вывалов) и местные искажения формы камер, опасные тем, что при создании гидровруба контроль параметров размыва локаторами существующих конструкций невозможен.

Для предотвращения опасных для труб обрушений кровли на таких участках размеры гидровруба (его диаметр) следует уменьшать до 20—25 *м*. Но, поскольку такие размеры не обеспечивают необходимую производительность рассолодобычи, более целесообразно сохранять существующие параметры, предпринимая при этом специальные меры по защите рабочих труб от обрушений. Одна из таких мер—создание гидровруба с предварительным размывом защитной выработки по схеме, представленной на рис. 3. По этой схеме предусматривается в начале размыва создавать защитную выработку небольшого диаметра (8—10 *м*), исключающего обрушения кровли, и высотой, превышающей на 3—4 *м* проектную отметку верха гидровруба. После размыва защитной выработки водоподающая колонна труб опускается до проектного уровня, закачивается нерастворитель (до башмака водоподающей колонны) и производится размыв гидровруба проектных размеров. При такой отработке рабочие трубы будут находиться под прикрытием потолка защитной выработки небольшого пролета, исключающего опасные обрушения кровли.

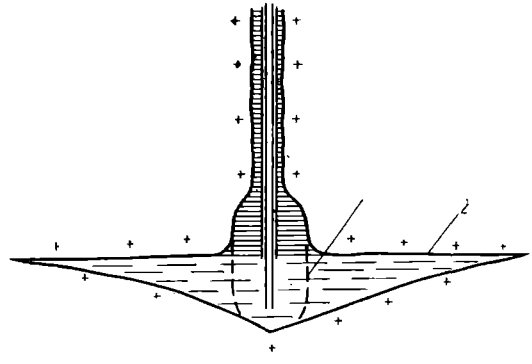


Рис. 3. Схема подготовительного размыва для защиты труб от обрушений
1 — защитная выработка; *2* — гидровруб

Выводы

Исследования на моделях, анализ данных бурения рассольных скважин, а также случаев аварийных обрушений в камерах размыва позволяют сделать следующие заключения.

Камеры Яр-Бишкадакского промысла не достигли предельно допустимых размеров. Для неслоистого соляного массива, характерного для промысла, размеры камер (их диаметр) по устойчивости кровли могут быть допущены в пределах от 150 (глубина 1300 *м*) до 250 *м* (глубина 700 *м*). Фактические параметры камер исключают возможность катастрофических обрушений, но отдельные вывалы, в целом не представляющие серьезной опасности для эксплуатации, по-видимому, неизбежны.

Вывалы, наиболее вероятные на участках переслаивания соли, могут вызвать деформацию или обрыв труб, а также местные искажения формы камер. Для предотвращения вывалов, опасных для труб, размер камер (их диаметр) на участке переслаивания следует уменьшать до 20—25 *м*. Однако уменьшенные размеры камер (диаметры 20—25 *м*) не обеспечивают оптимальной производительности рассолодобычи, поэтому более целесообразно пользоваться определенными способами защиты труб, сохраняя существующие параметры выемки.

Проведенные исследования позволяют сделать лишь ориентировочные рекомендации по размерам камер из-за ограниченности сведений о строении соляного массива и устойчивости недоступных выработок. Для уточнения рекомендаций необходимо фиксировать все обстоятельства каждого аварийного обрушения в камерах (положение рабочих труб, уровень пород на почве камер, изменение уровня нерастворителя, уход потолочин), увязывая их с геологическим разрезом по скважине. При этом важно отмечать продолжительность аварийных остановок размыва и материальный ущерб, связанный с обрушениями кровли. Целесообразно для выяснения масштабов обрушений проводить подземные съемки.