Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 2, 1965 г.

ОСУШЕНИЕ КАРЬЕРОВ ПРИ НАКЛОННОМ ЗАЛЕГАНИИ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

В. А. Мироненко, Ю. А. Норватов

Широкое развитие открытых горных работ требует дифференцированного подхода к принципам и методам осушения карьеров в зависимости от типа геологического строения месторождения. На специфику осушения наклонно залегающих пластов горных пород уже обращали внимание [1].

Особенности осушения наклонно залегающих пластов водоносных пород определяются рядом гидрогеологических и инженерно-геологических факторов.

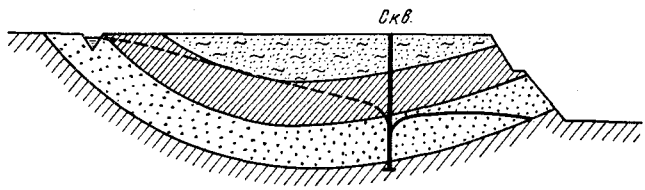


Рис. 1. Схема водопонижения при наклонном залегании (падение слоев в сторону от карьера).

Питание водоносных горизонтов при наклонном залегании осуществляется чаще не по площади распространения горизонта, а в основном по участкам выходов его на поверхность, обычно перекрытых слабопроницаемыми покровными отложениями типа суглинков. Поэтому в таких случаях преобладающая часть притоков, поступающих к карьерному полю, обусловлена сработкой статических запасов подземных вод, а не динамическими притоками.

Статические запасы сравнительно невелики: водоотдача пород, как правило, не превышает 0,02—0,03, что во много раз меньше водоотдачи пород, приуроченных к месторождениям с горизонтальным залеганием пластов. Исключение представляют лишь сильно закарстованные известняки.

Интенсификации осушения в значительной степени способствует уклон водоупорного ложа водоносного пласта, увеличивающий градиент, а следовательно, и скорость фильтрации в условиях постепенного истощения пласта. Так, если при горизонтальном залегании пластов градиенты подземного потока измеряются сотыми долями единицы, то при наклонном — иногда десятыми долями единицы.

Действительная скорость фильтрации в пластах рассматриваемого типа обычно значительно выше, чем на месторождениях с горизонтальным залеганием пород. Это обусловлено как уклоном водоупора, так и основными водопроводящими путями, которыми здесь служат нередко не поры, а трещины. В результате, в течение всего периода эксплуатации карьера водоприток со временем резко падает, а нередко водоносный горизонт

ЛГИ

полностью «истощается». Например, на Коркинском и Богословском карьерах через несколько лет эксплуатации высачивание из ряда водоносных горизонтов вскрышной толщи полностью прекращается.

При «обратном» (в сторону от откоса борта карьера) падении водоупорного ложа можно полностью устранить высачивание подземных вод на откосах, используя заградительный дренаж (рис. 1). Для этого нередко достаточен даже сравнительно небольшой уклон (4—5°). В условиях же горизонтального залегания пластов полное устранение высачивания подземных вод на откосах практически недостижимо.

Наличие в пределах карьерного поля местных мульд (понижений) второго порядка на месторождениях со сложным тектоническим строением вызывает появление в процессе осушения обособленных водоносных зон и требует конкретного подхода к дренажу таких понижений.

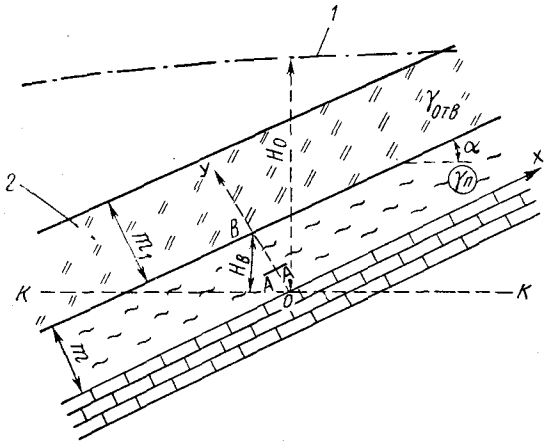


Рис. 2. Схема к определению эффективных напряжений: *1* — пьезометрическая кривая; *2* — породы отвала; *КК* — линия отсчета напоров.

На месторождениях рассматриваемого типа водосодержащие породы представлены обычно полускальными разностями, поэтому фильтрационные деформации (оплывание, выпор и т. п.), характерные для месторождений с горизонтальным залеганием рыхлых отложений, не получают заметного развития.

Так как к лежачему боку часто приурочены водоносные горизонты с высокими напорами, нередки случаи неожиданных прорывов вод в карьер. Особенно опасны прорывы из закарстованных известняков. Они сопровождаются высокими водопритоками (например, прорыв подземных вод на Богословском карьере).

В устойчивости откосов бортов и внутренних отвалов исключительно важную роль играют гидродинамические и гидростатические силы, обусловленные наличием напорных вод, приуроченных к лежачему боку.

После выемки пород вскрыши в породах лежачего бока, обычно характеризующихся глинистым составом, возникает восходящая фильтрация, вызванная разностью напоров вблизи кровли и подошвы глинистого пласта (рис. 2, точки *А* и *В*). Эффективное напряжение в глинах по площадке *АА* при этом уменьшается за счет гидродинамического давления

$$\sigma_{AA} = \left[\gamma_п (m - y) + \gamma_{отв} m_1\right] \cos\alpha - \Delta_0 (m - y) \frac{H_0 - H_в}{m}, \qquad (1)$$

где $\gamma_{отв}$ — объемный вес пород отвала;
$\gamma_п$ — объемный вес глинистых пород (с учетом взвешивания);
Δ_0 — удельный вес воды;
m, m_1 — мощности глинистого пласта и пород отвала;
α — угол наклона глинистого пласта;
H_0, $H_в$ — гидростатические напоры в подошве и кровле глинистого пласта;
y — координата площадки *АА*.

Отсюда видно, что при значительных напорах H_0 гидродинамические силы

$$F_{гд} = \Delta_0 (m - y) \frac{H_0 - H_в}{m} \qquad (2)$$

могут резко снизить эффективное напряжение. Это приводит, с одной стороны, к уменьшению сил внутреннего трения в грунте, а с другой — к набуханию-разуплотнению глинистых пород. Из формулы (1) ясно, что набухание максимально в нижней части глинистого слоя, поэтому подошва глинистого «водоупора» зачастую оказывается в текуче-пластичном состоянии.

Все это приводит к возникновению оползневых явлений на карьерах (например, оползни на Веселовском угольном разрезе).

Перечисленные факторы определяют следующие особенности схем осушения карьеров при наклонном залегании водоносных пластов.

I. При выборе средств осушения в целом следует отдавать предпочтение системам водопонизительных скважин.

1. Быстрое падение притоков к карьерному полю делает целесообразным использование таких схем осушения, которые, во-первых, требуют относительно малых капитальных затрат и, во-вторых, позволяют быстро и гибко реагировать на изменение водопритоков (снижением количества дренирующих устройств). Системы водопонизительных скважин удовлетворяют этим требованиям в гораздо большей степени, нежели подземные (штрек с фильтрами).

2. Относительная устойчивость пород вблизи стенок скважин обеспечивает незначительное «пескование» скважин. Это повышает срок работы как самих скважин, так и насосного оборудования (как известно, «пескование» и быстрый выход насосов из строя — одна из главных причин отказа от водопонизительных скважин на ряде месторождений с горизонтальным залеганием пластов).

4. Вследствие хорошей водоотдачи пород водопонизительные скважины могут эффективно работать при сравнительно малых (расчетных) коэффициентах фильтрации (2—5 *м/сутки*). Между тем на месторождениях с горизонтальным залеганием пластов, где водоносные породы представлены рыхлыми несвязными разностями, скважины при таких коэффициентах фильтрации обычно работают очень плохо.

Водопонизительные скважины с успехом используются, например, на карьерах Северо-Уральского угольного бассейна; дренажные штреки, пройденные на Богословском разрезе, оказались совершенно неэффективными.

II. Подземные системы осушения (штрек с фильтрами) целесообразны на месторождениях рассматриваемого типа: а) при крутом падении слоев (40—50° и более); б) при частом относительно тонком переслаивании водоносных пород с водоупорными (мощность каждого водоносного слоя 2—3 *м*). В последнем случае для создания эффективного заслона необходимо большое число малодебитных скважин (например, на Коркинском месторождении).

При наличии в водоносной толще водоупорных прослоев проходимые по простиранию пластов дренажные штреки должны обязательно сопровождаться фильтрами (сквозными или забивными) или горизонтальными ходками (или скважинами) вкрест простирания для пересечения всех водоносных слоев. Иначе штреки могут оказаться совершенно неэффективными, как, например, многие дренажные выработки, пройденные на Коркинском угольном разрезе.

III. Водопонизительные системы при синклинальном залегании наиболее эффективно располагать по оси складки (как, например, на Волчанских угольных разрезах).

При использовании дренажных штреков для осушения мощных (более 100 *м*) продуктивных толщ допустимо сооружение нескольких ярусов таких штреков, расположенных в 50—60 *м* друг от друга (по высоте) и последовательно вводимых в работу по мере углубления карьера.

При осушении мощных продуктивных толщ водопонизительные скважины целесообразно проходить не с поверхности, а с подошвы карьера или низовых берм. Дренажные штреки в таких условиях также целесообразно проходить или непосредственно из карьера (вкрест простирания) или из наклонных стволов, пройденных с подошвы карьера.

IV. Со стороны рабочего борта карьера, где наиболее часто отмечается «обратное» (в сторону от откоса) падение слоев, число водопонизительных скважин (фильтров), предназначенных для осушения пород висячего бока, должно обеспечить полное устранение высачивания подземных вод на откосах (см. выше). Осушение при этом должно начинаться заблаговременно.

V. Особое внимание необходимо уделять дренажу не вскрытых карьером напорных водоносных горизонтов в лежачем боку с целью предотвращения катастрофических прорывов и оползневых явлений (см. выше). При этом можно руководствоваться следующими принципами.

1. Если породы висячего бока или полезное ископаемое дренируются водопонизительными скважинами, в ряде случаев эти скважины можно использовать и для снижения напоров в лежачем боку (при сравнительно небольших напорах и небольшой разности отметок дренируемых горизонтов).

2. Если породы висячего бока или пласт полезного ископаемого дренируются подземной системой осушения, причем штрек проходят по полезному ископаемому, то для снижения напоров можно применять фильтры или колодцы, пройденные в почву дренажной выработки.

3. Если висячий бок не осушается или использование скважин одновременно для дренажа висячего и лежачего боков экономически нецелесообразно, то снизить напоры в лежачем боку можно или самоизливающими скважинами, пройденными непосредственно из выработанного пространства, или водопонижающими скважинами и колодцами из карьера. Водопонижающие скважины такого типа с успехом применяют для снижения напоров подугольного горизонта на Волчанском разрезе.

VI. При наличии мульд (понижений) второго порядка необходимо предусматривать специальные средства их осушения.

VII. Отвод поверхностных водотоков и регулирование поверхностного стока на участках, где водоносные слои выходят на поверхность, иногда делает возможным их «полное» осушение. Отсутствие такого рода мероприятий или небрежное их исполнение могут осложнить горные работы. Например, поступление воды из недостаточно изолированного отводного канала значительно повысило напоры на Богословском угольном разрезе.

В заключение остановимся на особенностях фильтрационных расчетов при наклонном залегании водоносных пластов.

1. Притоки из безнапорных водоносных горизонтов с наклонным залеганием водоупорного ложа необходимо рассчитывать по выделенным лентам тока, построенным либо графически, либо моделированием на приборе ЭГДА. Полученные ленты приводятся к плоским или расчетным методом [2], или с помощью прибора ЭГДА, что проще и точнее. В последнем случае определяется электрическое сопротивление расчетной ленты, а затем подбирается длина плоской ленты с таким же электрическим сопротивлением.

Рассчитывать плоскую ленту можно по формулам, выведенным для горизонтального залегания водоупора при замене $h_M^2 - h_K^2$ на $(h_M + h_K)\,\Delta H_{MK}$ ($h_{M\,(K)}$ — глубина потока соответственно в точках M и K; ΔH_{MK} — разность напоров в этих точках).

Этот прием дает достаточно хороший результат при исходных величинах, соответствующих области I (рис. 3). При соотношениях этих вели-

чин, характерных для области II (рис. 3), можно пользоваться безразмерным графиком, основанным на решениях В. С. Козлова [3].

2. Расчет динамических притоков из наклонно залегающих напорных водоносных горизонтов ничем не отличается от расчетов притоков из горизонтальных пластов. Отсчет напоров при этом осуществляется от произвольно расположенной горизонтальной плоскости.

3. Неустановившуюся безнапорную фильтрацию при наклонном водоупоре можно приближенно рассчитывать по формулам, выведенным для горизонтального водоупора, при замене h на $h + 0{,}5\,ix$ (h — глубина потока в точке с координатой x, i — уклон водоупора). При вычислении коэффициента уровнепроводности величина $h_{ср}$ заменяется величиной $(h + 0{,}5ix)_{ср}$ [4].

4. Системы водопонизительных скважин с учетом постепенного истощения мульдообразного пласта можно рассчитывать по формулам, выведенным методом последовательной смены стационарных состояний [5].

5. Более точные данные при расчете водопритоков к карьерам и дренажным устройствам можно получить моделированием неустановившейся фильтрации с помощью прибора ЭГДА (при использовании метода недеформируемых линий тока) или на сеточных интеграторах и гидроинтеграторах при автоматическом учете уклонов водоупора через напоры, отсчитываемые от произвольной горизонтальной плоскости сравнения.

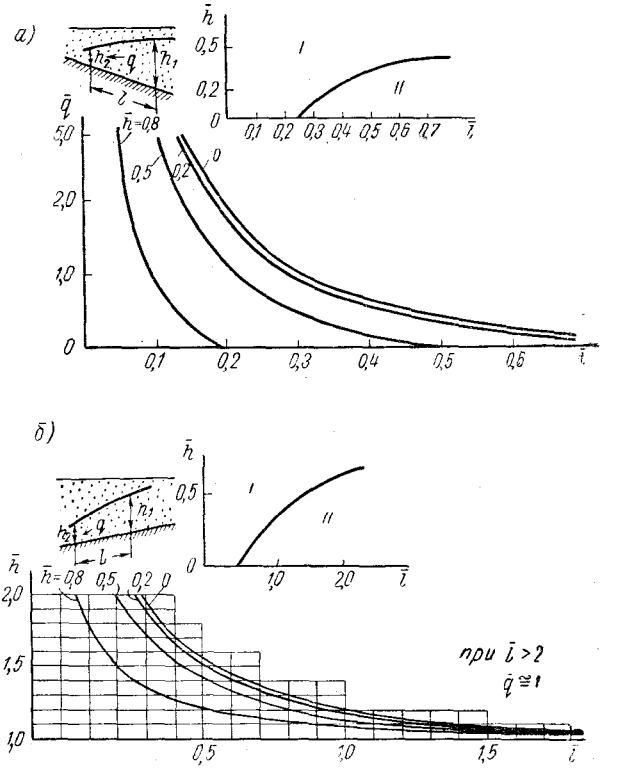


Рис. 3. Зависимость приведенного расхода $\bar{q}$ от приведенного расстояния до области питания $\bar{l}$. *а* — при обратном уклоне водоупора; *б* — при прямом уклоне водоупора

I — область применения формулы Козлова [3]; *II* — область значений $\bar{l}$ и $\bar{h}$, где вычисление $\bar{q}$ по формуле Козлова дает ошибки, превышающие 10 %

$$\bar{l} = \bar{q} \ln \frac{\bar{q} - \bar{h}}{\bar{q} - 1} - 1 + \bar{h};\quad \bar{l} = \frac{li}{h_1};\quad \bar{q} = \frac{q}{kh_1 i};\quad \bar{h} = \frac{h_2}{h_1};$$

(h_1, h_2 — глубины потока в сечениях, расстояние между которыми равно l; q — расход потока; i — уклон водоупора).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жернов И. Е. Рациональные схемы осушения карьеров на месторождениях с крутым падением пластов. Научн. записки УкрНИИпроекта, 1961, № 5.

2. Воробков Л. Н., Гаврилко В. М. и др. Водопонижение в гидротехническом строительстве. Госстройиздат, 1960.

3. Козлов В. С. Расчет дренажных сооружений. Стройиздат, 1940.

4. Шестаков В. М. Неустановившаяся фильтрация при наклонном водоупоре. ДАН СССР, т. 108, № 5, 1956.

5. Бочевер Ф. М., Шестаков В. М. О расчете притока подземных вод к водозаборным сооружениям в напорном пласте. Научн. сообщ. ВОДГЕО, Гидрогеология, 1962.