Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.LXIУ, вып. 1, 1974 г.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД В МАССИВЕ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОМ СПУСКЕ ВОДЫ ИЗ ЗАТОПЛЕННЫХ ВЫРАБОТОК

В.Б.Бокий, А.М.Фридлянд, А.И.Гололобов, А.И.Кудряшов

Из затопленных выработок регулируемый спуск воды с большим гидростатическим напором может быть обеспечен при надежном определении размера целика, оставляемого между затопленной выработкой и забоем сбойки, по которой намечается отвод воды. Для расчета размеров целика необходимо знать предел прочности пород на сжатие, который обычно определяется по образцам при естественной их влажности.

В рассматриваемых условиях при неправильном выборе размера целика возможна значительная фильтрация через него воды, что повысит влажность пород и может сильно снизить их прочность.

В свою очередь, значительный гидростатический напор воды в затопленной выработке может деформировать породы и создавать аварийную обстановку. Поэтому устанавливать размер целика только исходя из прочностных свойств пород нельзя. Необходима дополнительная проверка его размера по условиям фильтрации воды. С этой позиции размер целика должен быть таким, при котором вода в забой сбойки поступать практически не будет.

В качестве допустимого количества воды в забой сбойки принималось 0,5-0,6 $м^3$/сутки, или 0,02 – 0,025 $м^3$/ч, что составляет 0,002 $м^3$/ч с 1 $м^2$ забоя, т.е. соответствует незначительному капежу.

Степень водопроницаемости горных пород характеризуется, как известно, коэффициентом фильтрации. С другой стороны, образец испытываемой породы может оказаться достаточно плотным и практически водонепроницаемым в то время как ее массив, в большинстве случаев трещиноватый, будет водопроницаемым. Поэтому при решении рассматриваемой задачи коэффициент фильтрации пород следует определять в шахтных условиях.

Движение подземных вод в рыхлых породах подчиняется закону Дарси

$$Q = k F \frac{H}{l} \quad , \quad м^3/сек \, , \qquad (1)$$

где $Q$ – количество воды, протекающей в единицу времени, $м^3$/сек; $F$ – площадь поперечного сечения фильтрующей среды, $м^2$; $H$ – высота гидростатического напора, м; $l$ – длина пути фильтрации, м; $k$ – коэффициент фильтрации, м/сек, (м/ч или м/сутки).

Этот закон применим и для пород, разбитых большим количеством мелких трещин, представляющих значительное сопротивление, вследствие чего характер движения по ним воды приближается к ламинарному, как и в рыхлых поро-

дан.[1] Такое представление допустимо при скорости фильтрации подземных вод до 400 м/сутки.

Определенные лабораторным путем коэффициенты фильтрации имеют достаточную точность, но не характеризуют фильтрационные свойства пород в массиве. Поэтому для определения коэффициента фильтрации горных пород в массиве в пределах всего поперечного сечения горной выработки авторами предложен метод, основанный на использовании закона Дарси, исходя из которого коэффициент фильтрации может быть определен из выражения

$$k = \frac{Q\,l}{F\,H} \qquad (2)$$

и показаний прибора (рис. 1), служащего для определения трещиноватости горных пород в шахтных условиях.[2]

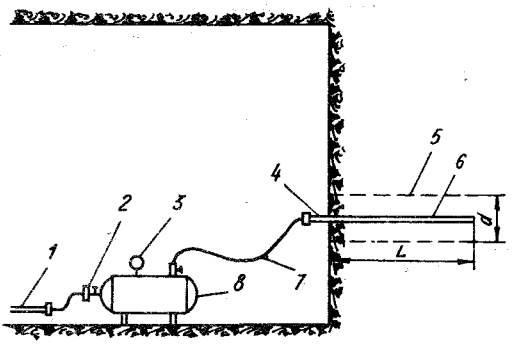



Рис.1. Схема установки для определения коэффициента фильтрации непосредственно в массиве горных пород:
1 – подводящий воздухопровод; 2 – вентили; 3 – манометр; 4 – герметизирующее устройство; 5 – граница проникновения сжатого воздуха; 6 – скважина; 7 – шланг; 8 – аккумулятор сжатого воздуха

Исходя из допущения, что при небольших давлениях законы движения жидкости и газа одинаковы, значение $Q$ в правой части формулы (2) можно принять по показаниям манометра указанного прибора. При этом расход воздуха можно выразить формулой

$$Q = \frac{(p_н - p_к)\,v_a}{t\,p_0}\ ,\ м^3/ч\ , \qquad (3)$$

где $p_н, p_к$ – давление воздуха, соответственно, в начале и в конце исследования трещиноватости, кГ/см$^2$; $v_a$ – объем аккумулятора прибора, м$^3$; $t$ – время падения давления от $p_н$ до $p_к$, ч; $p_0$ – атмосферное давление, кГ/см$^2$.

---

[1] С.В.Троянский, А.С.Белицкий, А.И.Чекин. Общая и горнорудничная гидрогеология. Госгортехиздат, 1960.

[2] А.М.Фридлянд. Исследование трещиноватости пород в массиве, окружающем горную выработку. "Шахтное строительство", 1965, № 5.

Длину пути фильтрации $l$ можно рассматривать как глубину проникновения сжатого воздуха в массив породы, равную радиусу $\frac{d}{2}$ основания цилиндра (рис. 1).

Тогда в качестве площади фильтрующей среды можно принять боковую поверхность цилиндра, радиусом основания которого является глубина проникновения воздуха, а высотой – длина скважины $L$ т.е.

$$F = L\pi a \,. \tag{4}$$

Высота столба воздуха, соответствующая давлению 1 атм, определится по формуле

$$H = \frac{p}{\gamma_{воз}} = \frac{p\,10^4}{1{,}293} \,, \text{ м} \,, \tag{5}$$

где $p$ – давление воздуха, кГ/м$^3$; $\gamma_{воз}$ – удельный вес воздуха, $\gamma_{воз}$ = = 1,293 кг/м$^3$.

Для рассматриваемых условий

$$p = p_{ср} = \frac{p_н + p_к}{2} \,, \text{ кГ/см}^2 \,. \tag{6}$$

При этом

$$H = \frac{(p_н + p_к)\cdot 10^4}{2\cdot 1{,}293} \,, \text{ м} \,. \tag{7}$$

Подставляя значения $Q, l, F, H$ в формулу (2) получим

$$k = \frac{(p_н - p_к)\, v_a \frac{d}{2}\, 2\cdot 1{,}293}{p_0\, t\, L\, \pi\, d\, (p_н + p_к)\cdot 10^4} \,, \text{ м/ч} \,, \tag{8}$$

или

$$k = 0{,}001\, \frac{(p_н - p_к)\, v_a}{p_0 (p_н + p_к) L t} \,, \text{ м/сутки} \,. \tag{9}$$

По формуле (9) и показаниям манометра при исследовании трещиноватости по каждой скважине определяются коэффициенты фильтрации отдельных участков массива, прилегающих к данным скважинам. Коэффициент фильтрации пород в массиве, ограниченном сечением выработки, вычисляется как их среднеарифметическое значение

$$k = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \ldots\ k_n}{n} \,, \tag{10}$$

где $n$ – число исследованных скважин.

Формула (10) справедлива при пересечении скважинами однородных пород. Когда же целик слагается из неоднородных слоев пород, коэффициенты фильтрации которых имеют соотношение не более 1:10, средневзвешенное значение $K_{ср}$ определяется по формуле

$$k_{ср} = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2 + \ldots + k_n m_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}, \qquad (11)$$

где $k_1 \ldots k_n$ – коэффициент фильтрации; $m_1 \ldots m_n$ – мощность отдельных слоев.

Поскольку коэффициент фильтрации зависит не только от фильтрационных свойств среды, а также от вязкости и удельного веса фильтрующихся жидкостей или газов, то

$$k_в = k \frac{\gamma_в \mu}{\gamma \mu_в}, \qquad (12)$$

где $k_в$ – коэффициент фильтрации воды, м/сутки; $\gamma_в$ – удельный вес воды, $10^3$ кГ/м$^3$; $\mu$ – вязкость воздуха $1{,}81 \cdot 10^{-2}$ (пуаз) при $t = 15^{\circ}$С); $\mu_в$ – вязкость воды $1{,}1 \cdot 10^{-2}$ (пуаз) (при $t = 15^{\circ}$С)

При этих значениях $k_в = 12{,}7\,k$, м/сутки.

Коэффициент фильтрации горных пород в массиве рассматриваемым методом определяется в следующей последовательности (рис. 2).

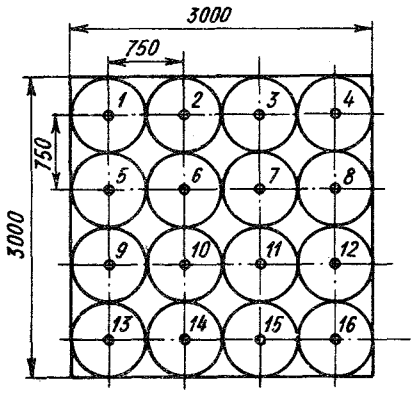



Рис. 2. Схема расположения скважин в забое сбойки, проходимой для спуска воды

На заданную глубину бурится скважина, и призабойная ее часть на 2–3 см забивается пластичной глиной. В скважину вводится герметизирующее устройство прибора при закрытом выпускном вентиле. Открывается вентиль со стороны подвода сжатого воздуха, и давление его в аккумуляторе доводится до необходимой величины (обычно 6 кГ/см$^2$). После этого вентиль со стороны трубопровода, подводящего сжатый воздух, закрывается, а со стороны герметизирующего устройства открывается. В журнал записывается начальное давление воздуха $p_н$ и время начала подачи воздуха в скважину.

Когда давление воздуха в аккумуляторе упадет до установленной величины $p_к$, берется отсчет времени $t$, и вентиль со стороны герметизирующего устройства закрывается.

Этот цикл операций повторяется по каждой скважине, после чего они на всю глубину забиваются пластичной глиной.

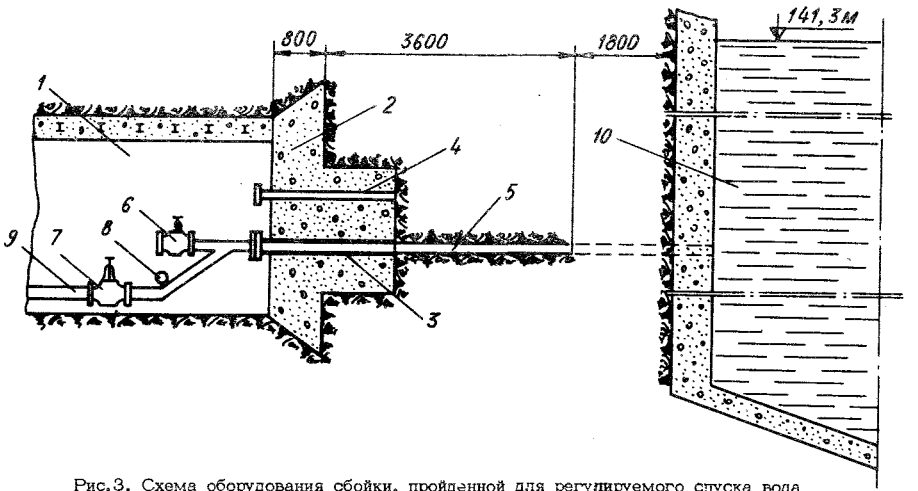



Рис.3. Схема оборудования сбойки, пройденной для регулируемого спуска вода из затопленного скипового ствола шахты 3"Тентекской":
1 – сбойка; 2 – перемычка; 3, 4 – соответственно, основной и резервный кондукторы; 5 – обсадная труба; 6, 7 – задвижки; 8 – манометр; 9 – водоотводный трубопровод; 10 – скиповой ствол

Предложенный способ определения коэффициента фильтрации горных пород в массиве был применен для определения размера целика при регулируемом спуске воды из затопленных вертикальных стволов на строившихся в Карагандинском угольном бассейне шахтах 3"Тентекская" (рис. 3); 17"Чубурай-Нуринская" и 8"Тентекская", соответственно, в 1964, 1966 и 1969 гг.

Схема расположения скважин в забое сбойки на скиповый ствол шахты 17 "Чубурай-Нуринской" в месте закладки бетонной перемычки показана на рис. 2, в таблице приведены результаты определения коэффициента фильтрации в породах целика, представленных слаботрещиноватыми песчаниками с пределом прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ = 460÷620 кГ/см$^2$, глубине скважины 2 м, начальном давлении $p_н$ = 6 атм и конечном давлении $p_к$ = 2 атм.

Длина целика по условиям фильтрации воды через него определяется по формуле

$$l_ц = k \frac{FH}{Q}, \text{ м}, \qquad (13)$$

где $l_ц$ – длина целиков, м; $F$ – площадь поперечного сечения целика в месте заложения перемычки, м$^2$; $H$ – высота столба воды в стволе, м; $Q$ – количество фильтрующейся через целик воды (при расчетах принималось 0,5-0,6 м$^3$/сутки, исходя из соображений практического отсутствия ее в забое).

Регулируемый спуск воды из стволов шахты 3 "Тентекской" и 17"Чубурай-Нуринской" осуществлялся при следующих данных:

| Шахта | 3"Тентекская" | 17"Чубурай-Нуринская" |
|---|---|---|
| Глубина ствола, м | 234 | 300 |
| Высота столба воды в стволе, м | 141,3 | 270,0 |

| Шахта | 3 Тентекская | 17 Чубурай-Нуринская |
|---|---|---|
| Объем воды в стволе, $м^3$ | 3350 | 6450 |
| Время нахождения ствола в затопленном состоянии, месяц | 26 | 34 |
| Длина целика, м | | |
| расчетная | 4,75 | 7,4 |
| фактическая | 5,4 | 8,0 |
| Время регулируемого спуска, ч | 36 | 56 |
| Экономический эффект, тыс. руб. | 12 | 22 |

Осуществление регулируемого спуска воды через целики, рассчитанные по фильтрации пород предложенным способом, подтвердило его надежность и возможность широкого применения для определения водопроницаемости пород непосредственно в шахтах.

Определение коэффициента фильтрации

| Номер шпура | Время падения давления, | | Коэффициент фильтрации, м/сутки | |
|---|---|---|---|---|
| | мин | часы | $k \cdot 10^{-4}$ | $k \cdot 10^{-3}$ |
| 1 | 4,8 | 0,080 | 1,56 | 1,98 |
| 2 | 5,0 | 0,083 | 1,50 | 1,90 |
| 3 | 5,2 | 0,087 | 1,44 | 1,83 |
| 4 | 4,9 | 0,082 | 1,53 | 1,94 |
| 5 | 5,4 | 0,090 | 1,39 | 1,77 |
| 6 | 5,6 | 0,093 | 1,34 | 1,70 |
| 7 | 4,8 | 0,080 | 1,56 | 1,98 |
| 8 | 4,9 | 0,082 | 1,53 | 1,94 |
| 9 | 4,8 | 0,080 | 1,56 | 1,98 |
| 10 | 4,8 | 0,080 | 1,56 | 1,98 |
| 11 | 5,0 | 0,083 | 1,50 | 1,90 |
| 12 | 5,2 | 0,087 | 1,44 | 1,83 |
| 13 | 5,2 | 0,087 | 1,44 | 1,83 |
| 14 | 5,4 | 0,090 | 1,39 | 1,77 |
| 15 | 5,6 | 0,093 | 1,34 | 1,70 |
| 16 | 5,0 | 0,083 | 1,50 | 1,90 |

$k_{ср} = 1{,}47 \cdot 10^{-4}$ м/сут ; $k_{в.ср} = 1{,}87 \cdot 10^{-3}$ м/сут .