Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института, том XXII, 1948

К вопросу о движении подземных вод в трещиноватых породах

Доц. Е. Е. Керкис

Вопросы, связанные с движением подземных вод в трещиноватых породах, до настоящего времени слабо освещены в литературе. В руководствах по гидрогеологии приводится только схема движения воды по трещинам, предложенная еще в 1912 г. А. А. Краснопольским, предусматривающая турбулентный режим движения, выражаемый законом Шези. Между тем в настоящее время имеются расчетные и экспериментальные данные, позволяющие дать более полное освещение условий движения воды в трещиноватых породах, что может иметь существенное практическое значение.

В настоящей краткой статье автор приводит произведенные им гидравлические расчеты, основанные на рассмотрении простейшей модели трещиноватой породы с учетом имевшихся экспериментальных материалов. В результате получены выводы, касающиеся режима движения воды в трещиноватых породах и зависимости водопроницаемости их от размеров и густоты трещин.

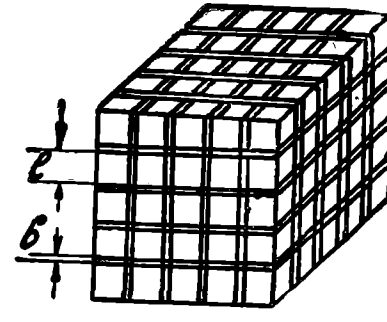


Рис. 1.

Рассмотрим схематическую модель трещиноватой породы в виде совокупности кубиков, разделенных тремя взаимно перпендикулярными системами трещин, отстоящих друг от друга на расстояние l и представляющих плоские щели с одинаковым просветом $в$ (рис. 1). При просачивании воды через подобную породу в направлении, параллельном двум системам трещин и перпендикулярном к третьей системе трещин, движение воды будет происходить только по трещинам первых двух систем. Третья система трещин, перпендикулярная потоку, будет иметь очень малое значение, которым мы можем пренебречь.

Обозначим среднюю скорость движения воды по трещине через v, Расход воды Q через поперечное сечение породы (F) для рассматриваемой схемы будет равен:

$$Q = v\varphi F,$$

где коэфициент φ представляет отношение свободного сечения проводящих воду трещин к общему сечению породы.

Для определения величины φ в рассматриваемом случае определим площадь, отвечающую просветам трещин, для квадратного сечения со сторонами, совпадающими с направлением двух систем трещин, по которым просачивается вода, и числом трещин в пределах сечения, равным $2n$ (рис. 2). Площадь, отвечающая просвету одной трещины для рассматриваемого сечения, равна nlb, а площадь, отвечающая просвету всех трещин — $nlb\ 2n = 2n^2l^2b$, при общей площади сечения, равной n^2l^2. Величина φ является отношением площади просвета трещин общей площади сечения, т. е.

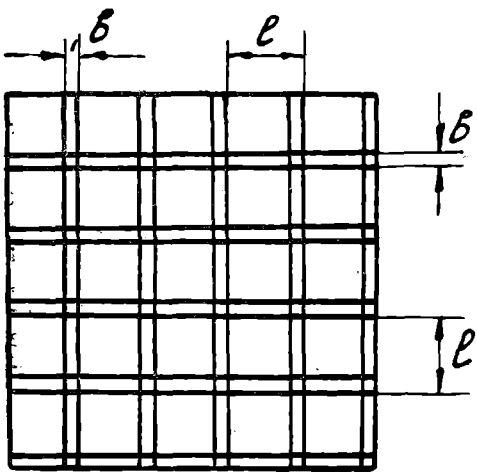


Рис. 2.

$$\varphi = \frac{2n^2lb}{n^2l^2} = 2\,\frac{l}{b}$$

соответственно чему

$$Q = \frac{2vb}{l} F.$$

Переходя к сечению, площадь которого равна одной квадратной единице, имеем

$$q = \frac{2vb}{l} \qquad (1)$$

При гидравлических градиентах, не превосходящих критических, движение воды по трещинам будет ламинарным и средняя скорость движения воды для каждой щели при гладкой поверхности ее будет равна

$$v = \frac{1}{12} \cdot \frac{\gamma}{\mu} b^2 I,^1 \qquad (2)$$

где: γ — вес единицы объема воды,
μ — вязкость в г-сек/см^2,
I — гидравлический уклон.

[1] Эта формула является следствием закона Ньютона для движения вязкой жидкости. Она почти одинакова с формулой для ламинарного движения плоского слоя жидкости, ограниченного только снизу, приводимой в различных курсах гидравлики (см., например, А. А. Отт, Гидравлика, 1937, стр. 203).

Подставляя в формулу (1) значение v из выражения (2), имеем

$$q = \frac{1}{6} \frac{\gamma}{\mu} \frac{b^3}{l} I.$$

При $I = 1$ получаем выражение для коэфициента водопроницаемости породы

$$k = \frac{1}{6} \frac{\gamma}{\mu} \frac{b^3}{l}. \qquad (3)$$

Эта зависимость указывает на то, что водопроницаемость трещиноватых пород пропорциональна третьей степени просвета (толщины) трещин, почему небольшое увеличение просвета трещин вызывает очень значительное увеличение водопроницаемости пород. Однако формула (3) относится к идеальной модели трещиноватой породы и отвечает простейшей схеме просачивания воды. Для реальных трещиноватых пород условия движения воды могут быть более сложными вследствие следующих обстоятельств:

1) просачивания воды через породу в направлении, не совпадающем с направлением трещин;

2) различной ориентировки трещин и неравномерного их развития для различных направлений;

3) шероховатости стенок трещин;

4) неодинакового просвета различных трещин и неодинаковых расстояний между ними;

5) извилистости трещин.

Для выяснения значения первого из указанных факторов нами рассмотрено было просачивание воды через описанную выше модель, но в произвольном направлении, не параллельном ни одной из систем трещин. Расчеты, произведенные нами для этой схемы, привести которые, к сожалению, за недостатком места, нет возможности, показывают, что в данном случае, несмотря на то, что движение воды происходит по всем системам трещин, скорости уменьшаются вследствие удлинения путей движения воды, уменьшаются также суммарные расходы воды по каждой системе трещин вследствие уменьшения числа трещин для сечения, не перпендикулярного к направлению трещин. Суммарный же расход воды остается тем же, что и для рассмотренного нами случая, вследствие чего водопроницаемость рассматриваемой нами модели трещиноватой породы является одинаковой во всех направлениях.

Значение второго фактора — разнообразия направлений трещин — трудней поддается учету. Однако очевидно, что порода, пересеченная трещинами всевозможных направлений, без преобладания каких-либо систем, должна также обладать одинаковой во всех направлениях водопроницаемостью, причем водопроницаемость подобной породы будет весьма близка к величине, определяемой формулой (3). В данном случае величина b будет являться средним расстоянием между трещинами.

При неодинаковом развитии трещин различных систем порода будет обладать водопроницаемостью, не одинаковой в различных на-

правлениях, т. е. будет анизотропной по своей водопроницаемости. Так например, если в рассмотренной выше модели одна из систем трещин, например горизонтальные трещины, хорошо развиты, а две другие системы трещин (вертикальные) развиты слабо, порода будет обладать наибольшей водопроницаемостью в горизонтальном направлении и наименьшей в вертикальном, наклонным же направлениям будут отвечать промежуточные значения коэфициента водопроницаемости. Рассмотрение анизотропных трещиноватых пород не входит в задачи настоящей работы, однако, как видно будет из дальнейшего, основные выводы, касающиеся движения воды в трещиноватых породах, вообще ориентировочные вследствие неизбежной схематизации реальных геометрических условий движения воды, могут быть распространимы и на подобные породы.

Значение шероховатости стенок трещин довольно существенно. Как показывают наблюдения над просачиванием воды через гладкие и шероховатые щели, произведенные в лабораториях различных организаций,[1] зависимость (2) для гладких целей вполне подтверждается, для шероховатых же щелей при ламинарном движении воды эта зависимость отличается от формулы (2) только величиной коэфициента пропорциональности, принимая вид:

$$v = Ab^2 I, \tag{4}$$

где: b — средний просвет щели, представляющий отношение площади поперечного сечения к длине его;

A — коэфициент пропорциональности, причем A меньше величины $\frac{1}{12}\frac{\gamma}{\mu}$, входящей в формулу (2).

Величина A зависит от шероховатости стенок трещин и может, согласно имеющимся данным, меняться в пределах от 5 400 $см^{-1}сек^{-1}$ для гладких щелей при вязкости воды, отвечающей температуре 5°, согласно формуле (2), до 1800 $см/^{-1}сек^{-1}$ для щелей с искусственной шероховатостью при абсолютной величине последней около 0,5 мм.

Зависимость (4) достаточно точно отвечает шероховатым щелям с просветом менее 0,4—0,5 мм; при щелях с большим просветом эта зависимость меняется — показатель степени для b становится несколько большим 2, а коэфициент A — еще меньшим. Однако в дальнейшем для ориентировочных соображений мы пренебрегаем этими изменениями.

В соответствии с формулой (4) формула (3) приобретает более общий вид

$$k = 2A\frac{b^3}{l}. \tag{5}$$

Неодинаковый просвет отдельных трещин имеет для водопроницаемости пород значение большее, чем все перечисленные факторы. Поскольку в формулы (3) и (5) величина просвета трещин входит

[1] Изучение законов фильтрации в трещиноватых породах. 1938 г. Рукопись. Архив Л. О. Спецгео. Аналогичные опыты производились в лабораториях отдела Изысканий Мингичаурской ГЭС и Закниивводхоза.

в третьей степени, немногочисленные крупные трещины могут пропускать расход воды, значительно превышающий расход, отвечающий даже большому числу мелких трещин. В связи с этим степень водопроницаемости трещиноватых горных пород зависит в гораздо большей степени от крупных трещин, даже при сравнительно небольшом их числе, чем от трещин мелких, волосных, даже при густой сети последних.

Извилистость трещин сказывается в том, что пути движения воды по трещинам имеют большие протяжения, чем соответствующие расстояния, взятые по прямой линии вдоль направления просачивания воды. Вследствие этого градиенты, действующие вдоль трещин, падают, и степень водопроницаемости породы также соответственно уменьшается. Однако уменьшение водопроницаемости вследствие извилистости трещин можно считать для большинства пород не превышающим 1,5—2 раза, что следует из рассмотрения прямолинейных и извилистых (по наиболее вероятным ломаным линиям) путей движения воды.

Вследствие трудности измерения величины b — просвета трещин для природных трещиноватых пород — и большого влияния этой величины на водопроницаемость, а также вследствие невозможности оценить влияние шероховатости естественных трещин и других факторов, применение формулы (5) для расчета коэфициента водопроницаемости может иметь только весьма ограниченное значение для предварительной ориентировочной характеристики пород в случае полного отсутствия опытных данных. Однако формула (5) может служить для суждения о просвете трещин и степени трещиноватости пород, для которых известен коэфициент водопроницаемости, давая в данном случае значительно лучшую ориентировку. Соответствующие выводы излагаются ниже.

Критическая скорость движения воды $v_{кр}$, соответствующая переходу ламинарного движения в турбулентное, определяется в гидравлике формулой

$$v_{кр} = \frac{N_{кр}\nu}{R}, \tag{6}$$

где $N_{кр}$ — критическое число Райнольдса,

R — гидравлический радиус,

ν — кинематический коэфициент вязкости.

Для щели с гладкими стенками

$$R = \frac{b}{2}$$

а при шероховатых стенках щели

$$R = \frac{b}{2s}, \tag{7}$$

в последнем случае b представляет средний просвет щели, а коэфициент $s\,(s>1)$ учитывает увеличение периметра поперечного сечения щели за счет шероховатости стенок. Подставляя (7) и (6), имеем

$$v_{кр} = \frac{2sN_{кр}\nu}{b}. \tag{8}$$

Обратимся к рассмотренной выше модели трещиноватой породы. Наиболее благоприятные для возникновения турбулентного движения условия имеют место при просачивании воды через породу в направлении, параллельном двум из трех взаимно перпендикулярных трещин, так как в этом случае скорости движения воды по трещинам будут наибольшие. Для этого случая, согласно изложенному выше на стр. 3, зависимость расхода воды через сечение с площадью, равной единице, выражается формулой (1)

$$q = \frac{2vb}{l},$$

откуда

$$v = \frac{1}{2}\frac{ql}{b},$$

но так как

$$q = kI,$$

то

$$v = \frac{kl}{2b} I.$$

Для критического значения градиента, отвечающего переходу ламинарного движения в турбулентное, можно написать

$$v_{кр} = \frac{kl}{2b} I_{кр}. \qquad (9)$$

Приравнивая это значение $v_{кр}$ приведенному выше в формуле (8), получаем

$$I_{кр} = \frac{4sN_{кр}\nu}{kl}. \qquad (10)$$

Формула (10) выведена для идеальной модели трещиноватой породы. Для реальных пород, с неодинаковыми просветами различных трещин, переход ламинарного движения в турбулентное должен иметь более сложный характер. При некоторых значениях I в более мелких трещинах может наблюдаться ламинарное движение, в более крупных же турбулентное. В связи с этим значения $I_{кр}$ будут для реальных трещиноватых пород меньшими, чем вычисленные по формуле (10), если понимать в данном случае в качестве $I_{кр}$ ту величину градиента, при которой в породе турбулентное движение начинает развиваться, но не захватывает всех трещин. Соответственно этому для реальных трещиноватых пород в формулу (10) следует ввести поправочный коэфициент α, значительно меньший единицы, и переписать ее в виде

$$I_{кр} = \alpha \frac{4sN_{кр}\nu}{kl} = \frac{M}{kl} \qquad (11)$$

где $M = 4\alpha sN_{кр}$ зависит от характера трещиноватости породы.

Определение значения коэфициента M, даже ориентировочно, представляет большие затруднения, и поэтому формула (11) должна иметь значение преимущественно для установления общей формы зависимости $I_р$ от κ и l. Однако мы считали все же целесообразным для предварительных соображений рассчитать значение M и отвечающие ему величины $I_{кр}$ для различных значений k и l, приняв следующие весьма вероятные значения α и $N_{кр}$ $\alpha = 0{,}05$ — принято как один из вероятных показателей, характеризующих породы с сравнительно небольшой изменчивостью просвета трещин.

$$b_{max} \quad b_{min} \cong 2{,}5 - 3{,}0.$$

$N_{кр} = 30$ — минимальное значение, полученное при опытах с шероховатыми стенками трещин.

$s = 2$, $\nu = 0{,}013$ см^2/сек (вода при 10°) — в данном случае в связи с значительной ориентировочностью коэфициента α, неточности величин s и ν существенного значения не имеют.

При указанных значениях α, $N_{кр}$ и т. д. получаем $M = 0{,}16$, соответственно чему рассчитаны величины $I_{кр}$, приведенные ниже в таблице.

l см	Коэфициент водопроницаемости k см/сек				
	$1\ 10^{-1}$	$1\ 10^{-2}$	$1 \cdot 40^{-3}$	$1\ 10^{-4}$	$1\ 10^{-5}$
1	1,6	16	160	1600	
10	0,16	1,6	16	160	1600
100	0,016	0,1	1,6	16	160

Данные таблицы показывают, что ламинарное движение подземных вод в трещиноватых породах имеет весьма широкое распространение. В частности при градиентах порядка не свыше нескольких сотых долей единицы, наблюдаемых обычно в естественных условиях, турбулентное движение можно ожидать главным образом в породах с коэфициентом водопроницаемости, превышающим 0,01 см/сек (~ 8—9 м/сутки), а при более редкой трещиноватости только при k, превышающем 0,1 см/сек (80—90 м/сутки).

При фильтрации под гидротехническими сооружениями для градиентов порядка нескольких десятых долей единицы, турбулентное движение может иметь место уже при k, превышающем 0,001 см/сек (~ 0,8—0,9 м/сутки) для пород с редкой сетью трещин и 0,01 см/сек (8—9 м/сутки) при более густой трещиноватости.

При проведении пробных откачек и особенно нагнетаний, на поверхности скважины градиенты могут достигать гораздо больших величин, что можно показать следующими простыми расчетами, произведенным для напорных условий фильтрации.

Пусть Q — расход воды,
k — коэфициент водопроницаемости,
r — радиус скважины,
a — мощность водоносного горизонта,
R — радиус влияния,
s — разность динамического и статического уровней.

Наибольший градиент на поверхности скважины I_{max} может быть получен из выражения:

$$Q = k F_{min} I'_{max} \text{ при ламинарном движении} \qquad (12)$$

$$Q = k F_{min} \sqrt{I''_{max}} \text{ при турбулентном движении.} \qquad (12а)$$

В формулах (12) и (12а) величины F_{min} представляет минимальное поперечное сечение потока у поверхности скважины. Таким образом

$$F_{min} = 2\pi r a.$$

Подставляя значение F_{min} в формулы (12) и (12а), получаем

$$I'_{max} = \frac{Q}{2k\pi r a} \qquad (13)$$

или

$$I''_{max} = \frac{Q^2}{4k^2\pi^2 r^2 a^2} \qquad (13а)$$

Величины $\frac{Q}{k}$ могут быть определены из формул Дюпюи при ламинарном движении и Краснопольского — Шези при турбулентном. Подстановка значений $\frac{Q}{k}$ в формуле (13) и (13а) дает

$$I'_{max} = \frac{s}{r(\ln R - \ln r)} \qquad (14)$$

или

$$I''_{max} = \frac{s}{r^2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)} \qquad (14а)$$

При $r = 0{,}04$ м, $R = 100$ м; $s = 20$ м получаем $I'_{max} = 64$ или $I''_{max} = 500$ (по форм. 14а).

Таким образом, гидравлические градиенты при нагнетаниях и откачках могут достигать очень больших величин. При столь больших градиентах турбулентное движение может наблюдаться в породах даже с небольшим коэфициентом водопроницаемости порядка $1 \cdot 10^{-4}$ — $1\ 10^{-5}$ см/сек ($\sim$0,08—0,008 м/сутки) и более.

Обработка материалов 210 опытных нагнетаний произведенных для трещиноватых известняков и мергелей пермского возраста [1] с довольно густой сетью трещин (l порядка 10—20 см) показала, что

[1] В районе Соликамского гидроузла.

для 180 таппоно-опытов, дающих коэфициенты водопроницаемости преимущественно менее 10^{-4} см/сек, кривые водопоглощения указывают на ламинарное движение, а для 30 опытов на турбулентное. При этом указанные 30 опытов распределяются по значениям коэфициента водопроницаемости следующим образом.

k см/сек	1 10^{-1}	1 10^{-2}	1 10^{-3}	1 10^{-4}	1 10^{-5}
Число опытов	2	6	11		4

Опыты производились при s равных 10, 20 и 30 м в условиях напорной фильтрации. Таким образом, в данном случае имеется хорошее совпадение расчетных и опытных данных.

Изложенное выше показывает, что очень часто при проведении пробных откачек или нагнетаний в трещиноватых породах имеет место турбулентное движение воды, в то время как для естественных потоков подземных вод или даже для фильтрации в основании гидротехнических сооружений движение воды может быть ламинарным вследствие градиентов, значительно меньших, чем при опытных работах, значения которых могут быть меньше критических. Пользование в подобных случаях коэфициентами водопроницаемости, определенными по результатам нагнетаний или откачек, для подсчетов расхода потоков подземных вод с градиентами, меньшими критического, может привести к грубым ошибкам, что видно из приведенных выводов.

При ламинарном движении скорость фильтрации через породу равна

$$v = kI,$$

где k — коэфициент водопроницаемости породы, отвечающий ламинарному движению.

При турбулентном движении для той же породы скорость фильтрации будет равна

$$v = k_m I^m$$

где k_m коэфициент водопроницаемости при турбулентном движении, m — коэфициент Смрекера.

Вообще k_m не равен k. Определим отношение друг к другу указанных двух коэфициентов водопроницаемости.

При критическом значении гидравлического градиента, отвечающем переходу ламинарного движения в турбулентное, скорость фильтрации будет иметь, согласно обоим приведенным формулам, одно и то же значение, соответственно чему можно написать.

$$kI_{кр} = k_m I_{кр}^m$$

откуда получаем значение отношения между k_m и k в виде:

$$\frac{k_m}{k} = I_{кр}^{1-m} \qquad (15)$$

Для турбулентного движения, подчиняющегося закону Шези, при $m = 2$, получаем

$$\frac{k_m}{k} = \sqrt{I_{кр}}. \qquad (16)$$

Выражения (15) и (16) показывают, что $k_т = k$ только при $I_{кр} = 1$; при $I_{кр} > 1$, $k_т > k$ при $I_{кр} < 1$, $k_т < k$, т. е. в зависимости от величины критического градиента, коэфициент водопроницаемости при турбулентном движении может быть больше или меньше коэфициента водопроницаемости при ламинарном движении.

Насколько велика может быть ошибка, возникающая при расчетах расходов потоков подземных вод в трещиноватых породах, обладающих ламинарным движением, при принятии в основу расчетов коэфициентов водопроницаемости, определенных при турбулентном движении, видно из следующего примера, отвечающего условиями фильтрации из одного водохранилища, расположенного в области развития трещиноватых известняков карбона.

Для известняков района указанного водохранилища в результате опытных нагнетаний был установлен коэфициент водопроницаемости 0,2 см/сек, в условиях явно турбулентного движения подземных вод. Площадь поперечного сечения подземного потока определена в 200000 м², гидравлический уклон 0,0033.

Расчет расхода подземного потока по формуле Шези при $k_т = 0{,}2$ см/сек дает величину расхода потока в 22,8 м³/сек. Если принять то же самое значение коэфициента фильтрации, но считать, что при градиенте 0,0033 движение воды будет ламинарным, получаем для расхода потока значение в 1,32 м³/сек, т. е. в 16,5 раза меньше.

В действительности можно предполагать, что для известняков района водохранилища критический градиент близок к 0,02 соответственно чему, согласно формуле (16)

$$\frac{k_m}{k} = \sqrt{0{,}02} = 0{,}141,$$

почему $k = k_m$ 0,141, что дает:

$$k = 0{,}02 : 0{,}141 = 1{,}41 \text{ см/сек.}$$

При указанном значении коэфициента водопроницаемости получаем значение расхода подземного потока для ламинарного движения — 9,3 м³/сек. Это значение подземного потока должно быть наиболее близким к действительности.

Рассмотрение модели трещиноватой породы, описанной выше на стр. 1 и 2, дает возможность подойти ориентировочно к оценке степени (коэфициента) трещиноватости скальных трещиноватых пород с различной водопроницаемостью. Если под степенью (коэфициентом) трещиноватости p понимать отношение объема свободного пространства в трещинах к общему объему породы, то для нашей модели

$$p = \frac{3b}{l} \qquad (17)$$

Исключая величину b из формул (3) и (17), получаем

$$p = 3\sqrt[3]{\frac{6k\mu}{\gamma l^2}} \qquad (18)$$

Формула (18) отвечает щелям с гладкой поверхностью.

Если взять более общее выражение (5) для коэфициента водопроницаемости и исключить b из него и формулы (17), получаем

$$p = 3\sqrt[3]{\frac{k}{2Al}} \qquad (19)$$

При $A = 5400$ см$^{-1}$ сек$^{-1}$ (для гладких щелей, см. стр. 4) формула (19) приобретает вид

$$p = 0{,}196\sqrt[3]{\frac{k}{l^2}}, \qquad (20а)$$

а при $A = 1800$ см$^{-1}$ сек$^{-1}$ (для шероховатых щелей, по опытным данным)

$$p = 0{,}136\sqrt[3]{\frac{k}{l^2}} \qquad (20б)$$

Величина A сравнительно мало влияет на значение коэфициента перед кубичным корнем в формулах (20а) и (20б), поскольку она стоит под корнем. Это указывает на то, что значительные колебания в величине A, вызванные различным характером трещин, не оказывают большого влияния на расчетные значения p. Это относится и к другим факторам, вызывающим отклонение зависимостей, наблюдаемых для реальных пород, от полученных для идеальной модели, перечисленных на стр. 3. Таким образом, в то время как расчет коэфициента водопроницаемости по характеристикам трещиноватости дает весьма неточные значения первого, расчет p по данным о водопроницаемости и густоте трещин дает удовлетворительные приближенные величины.

Ниже в табличке помещены величины p в %, рассчитанные по формулам (20а) и (20б) для различных значений k и l.

k см/сек	$l = 1$ см		$l = 10$ см		$l = 100$ см	
	а	б	а	б	а	б
$1\ 10^{-6}$	0,13	0,20	0,04	0,06	0,006	0,009
$1\ 10^{-5}$	0,30	0,41	0,06	0,09	0,013	0,02
$1\ 10^{-4}$	0,60	0,91	0,14	0,20	0,028	0,04
$1\ 10^{-3}$	1,38	2,00	0,40	0,59	0,06	0,09
$1 \cdot 10^{-2}$	3,00	4,00	0,60	0,90	0,13	0,20
$1 \cdot 10^{-1}$	6,00	9,10	1,40	2,00	0,28	0,40

На графике рис. 3 зависимости (20а) и (20б) изображены в логарифмическом масштабе. На этом же графике различными значками помечены точки, отвечающие значениям p, рассчитанным на основании опытных данных, полученных на изысканиях на р. Сулак, на Камгэсстрое и Соликамском гидроузле. Последние значения p получены расчетом по формуле $p = \frac{k}{k_д}$, где k — коэфициент водопроницаемости, $k_д$ — коэфициент действительной скорости движения подземных вод, определенный помощью индикаторов.

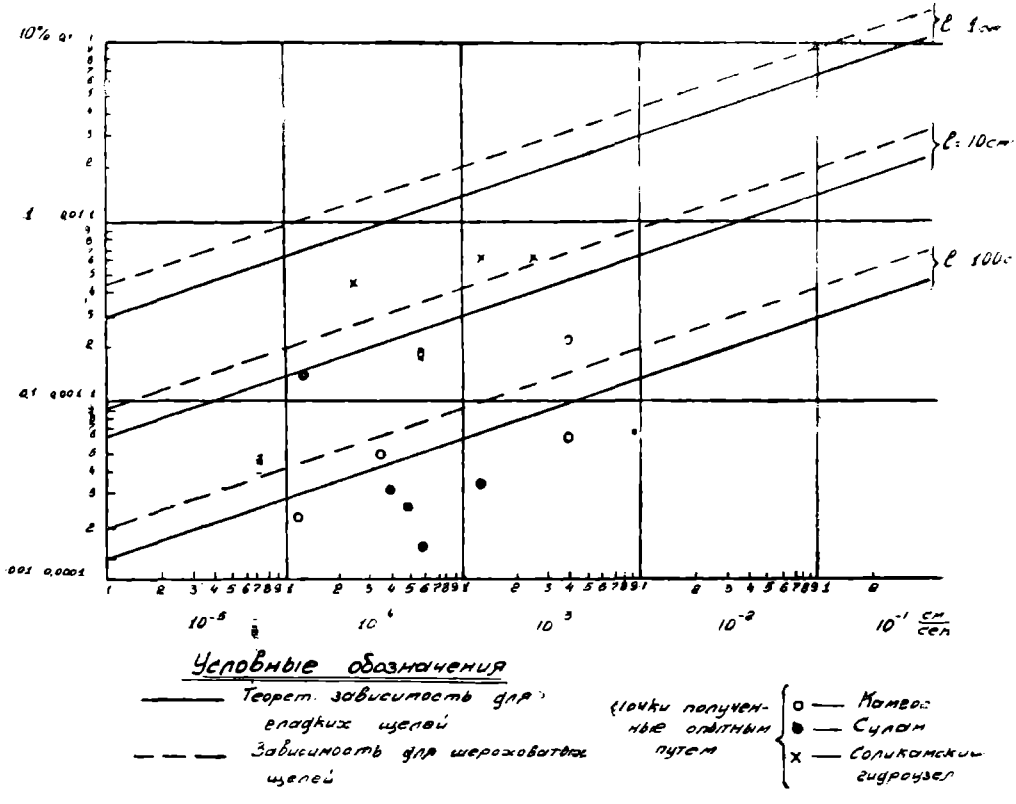


Рис. 3.

Рис. 3 обнаруживает хорошую сходимость опытных и расчетных данных.

Наиболее низкие значения p получены на Сулаке, где среднее расстояние между трещинами превышало 1 м. Значения p для Соликамского гидроузла отвечают расстоянию между трещинами, близкому к 10—20 см, что и наблюдается в действительности. Данные изысканий Камгэсстроя занимают промежуточное положение, трещиноватость в районе Камгэсстроя менее густая, чем в районе

Соликамского гидроузла. Все данные относятся к карбонатным породам: мергелям, известнякам и доломитам, не затронутым карстом.

В заключение автор высказывает пожелание в отношении проведения работы по изучению движения воды в трещиноватых породах в более широком масштабе, в 1-ю очередь в постановке достаточного числа полевых опытов.