

Министерство угольной промышленности СССР

Научно-исследовательский институт строительства  
угольных и горно-рудных предприятий  
(Кузнецкшахтострой)

## РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЙ НАГНЕТАНИЯ И РАСХОДА  
ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
ЦЕМЕНТАЦИИ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД ВОКРУГ  
КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Кемерово  
1984

**Аверко, Евгений Михайлович, Максимов, Леонид  
Анатольевич.**

Моделирование сейсмических полей и способов их  
обработки/ отв. ред. Н. Н. Пузырев. — Новосибирск :  
Наука. Сиб. отд-ние, 1984. — 85 с., ил.; 22 см. —  
(Тр. Ин-та геологии и геофизики / АН СССР, Сиб. отд-  
ние; Вып. 572).

Библиогр.: с. 79—84 (130 назв.)

1 р. 10 к. 1000 экз.

I. Соавт. — — I. Сейсмическая разведка

550.834.015.072

№19109 19.4.5

16 №477 [84-15870ж] п вс

ВКП 04.06.84 А195

А 1904030000-742/042(02)-84 165-84-1

**Министерство угольной промышленности СССР**

**Научно-исследовательский институт строительства  
угольных и горно-рудных предприятий  
(Кузнецкшахтострой)**

**Утверждено**

**Заместителем директора по  
научной работе института  
"Кузнецкшахтострой", к.т.н.  
Ерофеевым Л.М.  
25 июня 1984 г.**

**Утверждено**

**Главным инженером  
комбината  
"Кузбассшахтострой"  
Сыркиным П.С.  
27 июня 1984 г.**

## **РЕКОМЕНДАЦИИ**

**ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЙ НАГНЕТЕНИЯ И РАСХОДА  
ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
ЦЕМЕНТАЦИИ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД ВОКРУГ  
КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

**Кемерово  
1984**

## АННОТАЦИЯ

В работе предложен инженерный метод расчета давления нагнетания и расхода тампонажных материалов при проведении предварительной цементации трещиноватых горных пород на основе гидрогеологических данных, имеющихся у проектировщиков, приведены численные примеры расчетов.

Рекомендации являются дополнением к действующим руководящим и нормативным материалам по проведению предварительной цементации трещиноватых горных пород при сооружении капитальных горных выработок [1, 2, 3].

Использование настоящих рекомендаций позволит сократить трудоемкость и стоимость цементации, а также расход тампонажных материалов при обеспечении требуемого качества цементационных работ.

Работа выполнена канд.техн.наук Хямляйненым В.А.  
и инж. Угляницей А.В.

### Принятые обозначения

- $k_{\phi}$  - коэффициент фильтрации горного массива (принимает из гидрогеологического заключения), м/с;
- $k_0''$  и  $k_0'''$  - коэффициенты проницаемости в направлении основных осей трещиноватости, м<sup>2</sup>;
- $k_0$  - средний коэффициент проницаемости горного массива, м<sup>2</sup>;
- $\mu_0$  - коэффициент динамической вязкости воды, Па·с;
- $\gamma_0$  - удельный вес воды, н/м<sup>3</sup>;
- $\xi$  - коэффициент трещинной анизотропии;
- $\Delta P_{\text{на}i}$  - фактический перепад давления при исследованиях, Па;
- $i$  - индекс, указывающий номер режима при проведении гидродинамических исследований в скважине;
- $\Delta P_{zi}$  - замеряемый перепад давления при исследованиях в системе "скважина-водоносный горизонт", принимаемый равным разности статического и установившегося динамического уровня воды в скважине (принимает из гидрогеологического заключения), Па;
- $Q_i$  - расход воды при исследованиях (принимает из гидрогеологического заключения), м<sup>3</sup>/с;
- $P_{zi}$  - потери давления в прискважинной зоне (снижение проницаемости при коалесценции трещин в процессе бурения), Па;
- $S_i$  - показатель скин-эффекта;
- $\kappa$  - коэффициент пьезопроводности водоносного горизонта (принимает из гидрогеологического заключения), м<sup>2</sup>/с;
- $t_i$  - продолжительность исследований (принимает из гидрогеологического заключения), с;
- $r$  - радиус скважины (принимает из гидрогеологического заключения), м;
- $M$  - мощность водоносного горизонта (принимает из гидрогеологического заключения), м;
- $R_0$  - радиус влияния скважины (принимает из гидрогеологического заключения), м;
- $m_0$  - коэффициент трещиноватости горного массива;
- $\delta_0$  - среднее раскрытие трещин, м;

- $\delta_0^n$  и  $\delta_0^{II}$  - среднее раскрытие трещины в направлении основных силовых трещиноватости, м;
- $\beta$  - коэффициент увеличения раскрытия трещины, Па<sup>-1</sup>;
- $\mu$  - коэффициент Пуассона (принимает из гидрогеологического заключения);
- $E$  - модуль Юнга (принимает из гидрогеологического заключения), Па;
- $P_{н1}$  - давление на цементационном насосе при проведении гидродинамических исследований, Па;
- $h_{ст}$  - расстояние от цементационного насоса до статического уровня подземных вод по вертикали (глубину залегания статического уровня от поверхности земли принимают из гидрогеологического заключения), м;
- $P_{сх}$  - потери давления на преодолении гидравлических сопротивлений скважины, Па;
- $P_{нт}$  - потери давления на преодолении гидравлических сопротивлений нагнетательного трубопровода, Па;
- $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления скважины;
- $l$  - расстояние от устья скважины до середины цементационной заходки, м;
- $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;
- $d$  - диаметр скважины (принимает из гидрогеологического заключения), м;
- $K$  - коэффициент, учитывающий увеличение гидравлических сопротивлений при переходе от начальной воды к начальной раствору;
- $Q_p$  - средний расход цементного раствора при тампонировании, м<sup>3</sup>/с;
- $q_i$  - массовый расход воды при исследованиях (принимает из гидрогеологического заключения), кг/с;
- $C$  - коэффициент, учитывающий вязкостные потери давления;
- $b$  - коэффициент, учитывающий инерционные потери давления;
- $P_0$  - начальное давление нагнетания на цементационном насосе, Па;
- $\Delta P_0$  - начальный перепад давления по длине пор в растворе в трещинах, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений трещины во время скважины, Па;

- $P_{\text{доп}}$  - дополнительное давление, обусловленное зоом раствора в вертикальной части нагнетательного трубопровода и скважине, противодействием пластовых вод и гидравлическим сопротивлением скважины и трубопровода, Па;
- $\gamma_p$  - удельный вес раствора,  $\text{м/м}^3$ ;
- $h_0$  - расстояние от статического уровня подземн. вод до верхней отметки цементируемых пород, по вертикали, м;
- $\Delta P_k$  - конечный перепад давления по длине потока растворов в трещинах для первой скважины без учета деформируемости массива, Па;
- $\mu_p$  - динамическая вязкость раствора, Па·с;
- $a$  - эмпирический коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В),  $\text{м}^{0.5}/\text{с}$ ;
- $R$  - меньшая полуось эллипсоидной цементационной вапесн вокруг скважины (если коэффициент анизотропии горных пород неизвестен, то под  $R$  подразумевают радиус распространения раствора вокруг скважины), м;
- $\tau_0$  - предельное напряжение сдвига стабильных цементационных растворов, Па;
- $d$  - эмпирический коэффициент;
- $n$  - коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В);
- $\Delta P'_k$  - конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для первой скважины с учетом деформируемости массива, Па;
- $P_k$  - конечное давление нагнетания на цементационном насосе для первой скважины, Па;
- $P'_k$  - конечное давление нагнетания на цементационном насосе для последующих скважин, Па;
- $q_1$  - удельное водопоглощение на первой скважине,  $\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{Па}$ ;
- $q$  - удельное водопоглощение очередной скважины на этом же тампонируемом участке,  $\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{Па}$ ;
- $m$  - коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В);
- $\psi$  - коэффициент запаса;
- $\gamma$  - количество цемента, необходимое для образования I м<sup>3</sup> тампонажного камня,  $\text{кг/м}^3$ ;

- $G$  - количество цемента, необходимое для создания цементационной завесы, кг;
- $L$  - длина цементационной скважины или выработки, м;
- $R_n$  и  $R_{22}$  - полуось эллипса, описанного вокруг цементационной завесы, м;
- $S$  - площадь цементационной завесы, м<sup>2</sup>;
- $\Delta P_{cp}$  - среднееарифметическое значение конечных перепадов давления по длине потока раствора в трещинах по скважинам, Па;
- $\Delta P'_{кн}$  - конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для последней скважины с учетом деформируемости массива, Па;
- $q_n$  - удельное водопоглощение на последней скважине, м<sup>3</sup>/с·Па;
- $\gamma$  - коэффициент, учитывающий уменьшение проницаемости горного массива в процессе его цементации;
- $\Delta P'_{к(ср)}$  - среднееарифметическое значение перепадов давления  $\Delta P'_k$  по принятым концентрациям цементационного раствора.

Перевод единиц системы СИ в единицы других систем см. приложение I.



## В В Е Д Е Н И Е

В практике шахтного строительства находит все большее применение предварительная цементация трещиноватых горных пород при сооружении капитальных горных выработок.

Проведение цементации требует значительные объемы цемента. Расход цемента в основном зависит от трещиноватости горного массива и радиуса распространения цементационного раствора вокруг скважины, который в свою очередь определяется давлением нагнетания и концентрацией раствора.

В настоящей работе на основе аналитических и экспериментальных исследований фильтрации цементационных растворов в трещиноватых горных породах, выполняемых в течение ряда лет в институте "Кузнецкишахтострой" (II, I3, I4 и I5), а также обобщения известных методов определения гидрогеологических параметров горного массива предложен инженерный метод расчета давлений нагнетания и расхода тампонажных материалов.

В основу фильтрационных методов расчета давлений нагнетания и расхода материалов положено представление о течении цементационных растворов в трещиноватом массиве с учетом деформируемости горных пород, седиментации цементных частиц и отфильтровывания жидкой фазы.

## I. Определение давления нагнетания цементационных растворов

I.1. К нагнетанию раствора следует приступать при начальном давлении, обеспечивающем преодоление гидравлических сопротивлений трения вблизи скважин, и оказывать нагнетание при конечном давлении, соответствующем требуемой величине радиуса распространения раствора вокруг скважины.

Для определения конечного давления нагнетания предварительно рассчитывают гидрогеологические параметры подлежащего тампонирующему горного массива. Расчет необходимых гидрогеологических параметров производят по результатам гидрогеологического заключения геолого-разведочной организации, проводившей геологические и гидродинамические исследования горного массива под сооружаемую выработку.

I.2. Средний коэффициент проницаемости горного массива определяют по формуле:

$$k_0 = \frac{k_{\varphi} \mu_0}{\gamma_0} \quad (1)$$

Значения  $k_{\varphi}$  для каждого выявленного водоносного горизонта принимают из гидрогеологического заключения.

Значения  $\mu_0$  в зависимости от температуры подземных вод приведены в табл. I приложения 2.

Если гидродинамические исследования проводили одновременно на нескольких разведочных скважинах (расположенных не на одной прямой), то следует дополнительно определять коэффициенты проницаемости в направлении основных систем трещин, решая совместно уравнения [ 6 ]

$$\left\{ \begin{array}{l} k_0 = \sqrt{k_0'' \cdot k_0'^2} \\ \epsilon = \sqrt{k_0'' / k_0'^2} \end{array} \right. \quad (2)$$

Методика определения коэффициента  $\epsilon$  приведена в приложении 3.

1.3. При расчете гидрогеологических параметров горного массива по результатам гидродинамических исследований в скважинах (откачка или нагнетание воды в скважину) величину замеренного перепада давления в системе "скважина-водоносный горизонт" следует корректировать с учетом дополнительных потерь в прискважинной зоне, возникающих при исследованиях, по уравнению

$$\Delta P_{на_i} = \Delta P_{ji} \pm P_{Si} \quad , \quad (3)$$

где знак (-) берут при нагнетании воды в скважину, а (+) при ее откачке.

Потери напора  $P_{Si}$  определяют по уравнению Херста и Ван Эвердинга [ 5 ].

$$P_{Si} = \frac{\Delta P_{ji} \cdot S_i}{S_i + \frac{1}{2} \ln \frac{\kappa t_i}{r^2} + 0,4045} \quad , \quad (4)$$

$$\text{где } S_i = \frac{2\pi M k_a \Delta P_{ji}}{Q_i \mu_b} - \frac{1}{2} \ln \frac{\kappa t_i}{r^2} - 0,4045 \quad . \quad (5)$$

Если величина  $\kappa$  в гидрогеологическом заключении не рассчитана, то ее определяют из уравнения [ 6 ]

$$\kappa = \frac{R_a^2}{2,25 t_i} \quad . \quad (6)$$

1.4. Коэффициент трещиноватости горных пород определяют по уравнению Ф.И.Котяхова [ 7 ].

$$m_s = 35,28 \sqrt{\frac{Q_i \mu_b k_a R_a}{\Delta P_{на_i} M}} \quad . \quad (7)$$

1.5. Среднее раскрытие трещин определяют по формулам Н.Т.Логачева [ 8 ]

$$\delta_0 = 110 \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} \quad \text{при } k_0 < 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 ; \quad (8)$$

$$\delta_0 = \frac{k_0^2}{16,8 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2} \quad \text{при } k_0 > 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 . \quad (9)$$

Если предварительно были определены значения коэффициентов проницаемости в направлении основных систем трещиноватости  $k_0^H$  и  $k_0^{22}$  (см. раздел 1.2), то по формулам (8) и (9) рассчитывают среднее раскрытие трещин в этих системах  $\delta_0^H$  и  $\delta_0^{22}$ .

1.6. Коэффициент увеличения раскрытия трещин  $\beta$  определяют либо по известным деформационным характеристикам горных пород, полученным в результате испытания образцов керна, либо гидродинамически по изменению фильтрационной способности горного массива при разных режимах откачки или нагнетания воды в скважину.

По деформационным характеристикам коэффициент  $\beta$  определяют отдельно для каждой литологической разности вскрытых скважиной горных пород из уравнения (9)

$$\beta = \frac{3(1-2\mu)}{E m_0} (1-m_0) . \quad (10)$$

Если в пределах водоносного горизонта выявлены горные породы с различными значениями  $\beta$ , то для дальнейших расчетов принимают их средневзвешенное значение.

Гидродинамически коэффициент  $\beta$  определяют приближенно по уравнению Ф.И.Котлякова [10]

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{Q_1}{\Delta P_{нн1}}} - \sqrt[3]{\frac{Q_2}{\Delta P_{нн2}}}}{\sqrt[3]{\frac{Q_1}{\Delta P_{нн1}} \cdot |\Delta P_{нн1} - \Delta P_{нн2}|}} , \quad (11)$$

где  $\Delta P_{пл1} > \Delta P_{пл2}$  - при нагнетании воды в скважину и

$\Delta P_{пл1} < \Delta P_{пл2}$  - при откачке воды из скважины.

Необходимым условием для расчета  $\beta$  по уравнению (II) является проведение геолого-разведочной организацией гидродинамических исследований в скважине при двух различных режимах возмущения водоносного горизонта (откачка или нагнетание воды), при этом значения  $\Delta P_{пл1}$  определяют согласно требованиям раздела 1.3.

Если в гидрогеологическом заключении по какой-либо причине отсутствуют данные о деформационных характеристиках горных пород и исследование водоносного горизонта проводилось при одном режиме его возмущения, то коэффициент  $\beta$  следует определять гидродинамическим способом непосредственно в процессе проведения цементационных работ на первой скважине перед нагнетанием цементационного раствора. С этой целью дважды при различных режимах нагнетания воды в скважину определяют приемистость горного массива  $\frac{Q_1}{\Delta P_{пл1}}$  и по уравнению (II) рассчитывают величину коэффициента  $\beta$ . При этом  $\Delta P_{пл1}$  определяют по уравнению

$$\Delta P_{пл1} = P_{н1} + \gamma_a h_{от} - (P_{зи} + P_{ск} + P_{нт}), \quad (12)$$

где потери напора  $P_{зи}$  определяют по уравнению (4) с учетом (5).

Потери напора  $P_{ск}$  учитывают при глубине залегания водоносного горизонта  $> 300$  м. Расчет величины  $P_{ск}$  производят по уравнению Дарси-Вейсбаха (4)

$$P_{ск} = \lambda \frac{8}{\pi^2 g d^5} \cdot l Q_1^2 \quad (13)$$

Потери напора  $P_{нт}$  зависят от расстояния между насосной установкой и нагнетательной скважиной, режимов течения в сечении и изгибов нагнетательного трубопровода и рассчитываются по формулам трубопроводной гидравлики (4).

Первый раз нагнетание вод в скважину производят при давлении на цементационном насосе  $P_{н1} = 0,3-0,5$  МПа, во второй раз при  $P_{н2} = 0,2-0,3$  МПа.

При нагнетании воды в скважину перед замером ее расхода предварительно добиваются установившегося или близкого к нему режима фильтрации, что при законтурной схеме нагнетания выражается в прекращении колебания давления нагнетания  $P_{н.к}$ , а при циркуляционной - в прекращении колебания расхода нагнетаемой в скважину воды. Как правило, для достижения такого режима достаточно 20-30 минут.

При большом количестве гидравлических возмущений водоносного горизонта и достаточной достоверности полученных данных обработку их следует вести по более строгой методике, учитывающей влияние инерционных сил, о использовании программы множественной корреляции согласно уравнению

$$\Delta P_{н.к} \pm \frac{3}{2} B \Delta P_{н.к}^2 = C q_i + B q_i^2 \quad (14)$$

где знак (+) берут при нагнетании воды в скважину, а (-) - при ее откачке.

1.7. Начальное давление нагнетания на цемента моно в насосе определяют по формуле

$$P_0 = \Delta P_0 - P_{госп} \quad (15)$$

$$\text{где } P_{госп} = \gamma_p h_{ев} + (\gamma_p - \gamma_a) h_n - (P_{ск} + P_{нт}) \quad (16)$$

При расчете начального давления нагнетания значение  $\Delta P_0$  принимают равным  $1 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5$  Па.

При получении в формуле (15) значения  $P_0 < 0,5 \cdot 10^5$  Па с целью контроля непрерывности потока раствора в скважине следует принимать  $P_0 = 0,5 \cdot 10^5$  Па.

Потери напора  $P_{нт}$  и  $P_{ск}$  определяют согласно рекомендациям раздела 1.6, рассчитывая при этом величину  $P_{ск}$  по уравнению

$$P_{ск} = \kappa \lambda \frac{\delta}{\pi^2 g d^5} \cdot L Q_p^2 \quad (17)$$

Значения  $\mu_p$  и коэффициента  $K$  в зависимости от концентрации цементационного раствора приведены в табл. I приложения 2.

1.8. Конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для первой скважины без учета деформируемости массива при применении нестабильных цементационных растворов (цементно-водное массовое отношение  $\text{Ц:В} \leq 1:1$ ) оп. делит по уравнению (16), - для стабильных (цементно-водное массовое отношение  $\text{Ц:В} > 1:1$ ) по уравнению (19) [ 11, 12 ]

$$\Delta P_k = \frac{\mu_p \alpha \sqrt{\delta_0''} m_0 R}{k_0''}, \quad (18)$$

$$\Delta P_k = \frac{t_0 \delta_0'' m_0 R}{2\alpha k_0''}, \quad (19)$$

где  $k_0'' < k_0^{22}$ ,

Значения  $\mu_p$  и  $\alpha$  в зависимости от концентрации цементационных растворов приведены в табл. I приложения 2.

Значения  $t_0$  принимаются от 0,75 до 7,5 Па соответственно для концентраций  $1:0,8 \geq \text{Ц:В} \geq 1:0,5$ , а для растворов с другими концентрациями следует определять в лабораторных условиях.

Коэффициент  $\alpha$ , который характеризует отношение трещинной проницаемости горного массива при течения цементационного раствора к проницаемости при течения в нем воды, принимает равным 0,74.

Величину  $R$  определяют графически с таким расчетом, чтобы вокруг проводимой выработки образовывалась цементационная завеса толщиной не менее 3 м.

Если значения проницаемости и раскрытия трещин в направлении основных слоев трещиноватости не определены, то для расчета следует использовать их средние значения.

1.9. Конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для первой скважины, с учетом деформируемости массива, определяют по формуле [ 13 ]

$$\Delta P_k' = \frac{(n \beta \Delta P_k + 1)^{1/n} - 1}{\beta} \quad (20)$$

Коэффициент  $n$  назначают равным 2 при Ц:В  $\geq$  1:0,5; 2,5 – при Ц:В  $\leq$  1:1, а для остальных растворов получают путем интерполирования.

I.10. Конечное давление нагнетания на цементационном насосе для первой скважины определяют по формуле

$$P_k = \Delta P_k' - P_{\text{гос}} , \quad (21)$$

где  $P_{\text{гос}}$  определяют по уравнению (16).

I.11. Конечное давление нагнетания на цементационном насосе для последующих скважин определяют по формуле (II)

$$P_k' = \Delta P_k' \left( \frac{q_1}{q} \right)^m - P_{\text{гос}} , \quad (22)$$

Коэффициент  $m$  принимают равным 0,275 для растворов с Ц:В  $\leq$  1:1 и 0,55 с Ц:В  $>$  1:1.

I.12. При разработке проекта по предварительной цементации для каждого выявленного водоносного горизонта вначале определяют  $P_{\text{гос}}$ ,  $P_0$  и  $\Delta P_k$ , и если коэффициент  $\beta$  был определен по данным гидрогеологического заключения, то определяют  $\Delta P_k'$  и  $P_k$ . Если в проекте предусматривают коэффициент  $\beta$  определять в процессе проведения цементационных работ, то значения  $\Delta P_k'$  и  $P_k$  определяют непосредственно перед нагнетанием раствора в скважину. Давление нагнетания рассчитывают сразу для нескольких, наиболее часто встречающихся в практике цементации, концентраций цементных растворов и записывают их значения в таблицы. При проведении цементации, в зависимости от принятой концентрации раствора (которая зависит от удельного водоналожения горных пород [ I, 2 ], из таблиц берут соответствующее данной концентрации значение давления нагнетания.



## 2. Определение расхода тампонажных материалов

Количество цемента, необходимое для создания вокруг одиночной скважины цементационной завесы требуемого размера, определяют по уравнению [14]

$$G = \frac{\pi}{3\xi} (\psi R)^2 L m_0 (3 + \beta_{\Delta} P_k') \gamma. \quad (23)$$

При отсутствии данных об анизотропии горного массива принимают  $\xi = 1$ .

Коэффициент  $\psi$  обусловлен неточностью определения параметров тампонируемой среды, возникновением в процессе тампонирования гидроразрывов горного массива, распространением цементационного раствора по крупным трещинам на расстоянии, большее по сравнению с расчетным, частичным уносом цементных частиц за пределы тампонируемой зоны. В практических расчетах при этом  $\psi = 2$  [6].

Значение  $\gamma$  зависит от давления уплотнения, продолжительности опрессовки цементационного раствора в скважине и определяется остаточным цементно-водным отношением. В практических расчетах принимают  $\gamma = 1,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, что соответствует  $\Pi:В=1:0,32$  [15].

Однако создать цементационную завесу требуемых размеров и плотности через одиночную тампонажную скважину весьма затруднительно, поэтому на практике цементацию горных пород производят, как правило, через несколько скважин, пробуренных внутри или за контуром сечения сооружаемой выработки.

Количество цемента, необходимое для создания цементационной завесы требуемых размеров при цементации горного массива через несколько скважин, рассчитывают по уравнению

$$G = \frac{1}{3} S L m_0 (3 + \beta_{\Delta} P_{cp}) \gamma. \quad (24)$$

Контуры полученной цементационной завесы определяют путем графического построения контуров распространения гаммоновых растворов вокруг одиночных скважин, при этом, если значение  $\xi$  известно,  $\xi$ -ому цементационной завесе вокруг одиночной скважины принимает в виде эллипса с полуосями,  $r$  - ными

$$\tau_{11} = \psi R . \quad (25)$$

$$\tau_{22} = \frac{\tau_{11}}{\xi} = \frac{\psi R}{\xi} , \quad (26)$$

а если неизвестно, то в виде окружности с радиусом, равным

$$\tau' = \psi R . \quad (27)$$

Наложив друг на друга, построенные контуры образуют общий (суммарный) контур с площадью  $S$ .

При расположении цементационных скважин вблизи контура осушения осушительной выработки величину  $S$  принимают при известном значении коэффициента  $\xi$  равной площади эллипса, а при неизвестном его значении - равной площади круга, описанного вокруг суммарной цементационной завесы. Площадь эллипса при этом определяют по уравнению

$$S = \pi R_{11} \cdot R_{22} . \quad (28)$$

Величину  $\Delta P_{ср}$  в данном случае определяют как среднеарифметическое между  $\Delta P'_{к(ср)}$  и  $\Delta P'_{кн}$ .

Величину  $\Delta P'_{кн}$  рассчитывают по уравнению

$$\Delta P'_{кн} = \Delta P'_{к(ср)} \left( \frac{q_1}{q_n} \right)^{0,275} , \quad (29)$$

где  $q_1$  принимают равным  $(2,5 - 3,3) 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с} \cdot \text{Па}$   
 $(0,015 - 0,02 \text{ л/мин} \cdot \text{м} \cdot \text{м вод.с}^{-1})$ .

Удельное водопоглощение на первой скважине  $q_1$  опреде-

ляют по формуле

$$q_1 = \frac{G_1}{M \Delta P_{пл.}} \quad (30)$$

где  $\Delta P_{пл.}$  определяют из уравнения (3).

Для улучшения свойств цементных растворов в них часто добавляют различные химические добавки, такие как жидкое стекло, хлоридный кальций, хлористое железо и т.д., количество которых следует принимать согласно рекомендациям [ 2 ].

### 3. Пример расчета

#### 3.1. Исходные данные для расчета

Расчет давлений нагнетания и расхода тампонажных материалов произведен для условий цементации трещиноватых горных пород первого водоносного горизонта вокруг нового клетчатого ст. для шахты им. В.И. Ленина ПО "Ожкузбассуголь". Исходные данные для расчета следующие:

диаметр ствола в свету	8,5 м
диаметр ствола в проходке	7,5 м
расстояние от статического уровня подземных вод до поверхности земли	18 м
мощность водоносного горизонта (М)	62м (от 18 до 80 м)
радиус разведочных скважин r	0,046 м
температура подземных вод t	100С
расчетное значение радиуса влияния скважины R <sub>0</sub>	5780 м
расчетное значение коэффициента фильтрации k <sub>ф</sub>	2,31 · 10 <sup>-5</sup> м/с
расчетное значение коэффициента проницаемости k	2,26 м <sup>2</sup> /с

В табл. I приведены результаты отдачи воды из центральной скважины для первого водоносного горизонта.

Таблица 1

Интервал: глубины, м	Режим : в. для	Понижение ур.- : кн. в $A P_{3i}$ , м	Расход воды : при исследов- : или $Q_{i, IC}^{-2}$ м <sup>3</sup> /с	Продолжи- : тельность : откачки $t_{i, ч}$
18-20	I	7	3,64	93
	II	10,25	5	93,8

При гидрогеологическом исследовании горного массива разведочные скважины были расположены на одной прямой, что не позволило при проектировании цементации учесть трещинную анизотропию.

В данном примере для иллюстрации практического применения методики определения коэффициента трещинной анизотропии  $\beta$  и использованных его значения в дальнейших расчетах предположили наличие четырех наблюдательных скважин, в которых прослеживали понижение уровня воды вследствие ее откачки из центральной скважины.

Расстояния от поверхности земли до установившихся динамических уровней воды в центральной и наблюдательной жм. зонах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скважина #1 (централь- ная), м	Скважина #2 (наблюда- тельная), м	Скважина #3 (наблюда- тельная), м	Скважина #4 (наблюда- тельная), м	Скважина #5 (набл.- тельная), м
26	22,1	22,2	22,2	22,6

Согласно рекомендации [ 2 ] цементацию будем производить из технологической части ствола, пройденной до глубины 27 м, через 8 вертикальных скважин, расположенных на окружность с диаметром равным 6,5 м.

Цементационный насос располагаем на поверхности земли, непосредственно в сечении ствола.

### 3.2. Расчет гидрогеологических параметров горного массива.

По уравнению (1) рассчитываем коэффициент средней проницаемости горного массива

$$k_0 = \frac{2,31 \cdot 10^{-5} \cdot 1,31 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^4} = 3,03 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^2\text{)} .$$

Используя рекомендации приложения 3, по данным таблицы 2, строим план гидрозогины (гидрозогины проведена через отметку 23 м, см. рис. 1) и по формуле (31) определяем значение коэффициента трещинной анизотропии горного массива

$$\xi = \frac{3}{3,9} = 0,77 .$$

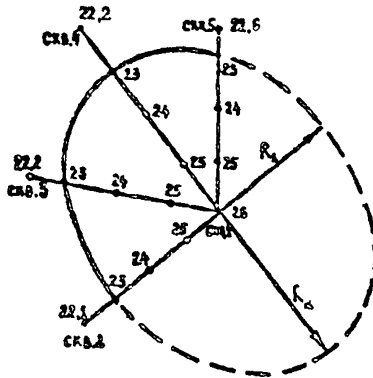


Рис.1. Построение плана гидрозогины

Решая систему уравнений (2), определяем коэффициенты проницаемости в направлениях основных систем трещин

$$\begin{cases} 3,03 \cdot 10^{-12} = \sqrt{k_o^{11} \cdot k_o^{22}}, & k_o^{11} = 2,33 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^2\text{)}, \\ 0,77 = \sqrt{k_o^{11} / k_o^{22}}, & k_o^{22} = 3,94 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^2\text{)}. \end{cases}$$

Для расчета фактического перепада давления по уравнениям (4) и (5) определяем значения  $S_1$  и  $P_{s1}$  для каждого режима исследования

$$S_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 62 \cdot 3,03 \cdot 10^{-12} \cdot 7 \cdot 10^4}{3,64 \cdot 10^{-8} \cdot 1,31 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \left( \frac{2,26 \cdot 334,8 \cdot 10^8}{0,046^2} \right) -$$

$$- 0,4045 = 7,067;$$

$$S_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 62 \cdot 3,03 \cdot 10^{-12} \cdot 10,25 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^{-8} \cdot 1,31 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \left( \frac{2,26 \cdot 337,7 \cdot 10^8}{0,046^2} \right) -$$

$$- 0,4045 = 8,206;$$

$$P_{s1} = \frac{7 \cdot 10^4 \cdot 7,067}{7,067 + \frac{1}{2} \left( \frac{2,26 \cdot 334,8 \cdot 10^8}{0,046^2} \right) + 0,4045} = 2,856 \cdot 10^4 \text{ (Па)};$$

$$P_{s2} = \frac{10,25 \cdot 10^4 \cdot 8,206}{8,206 + \frac{1}{2} \left( \frac{2,26 \cdot 337,7 \cdot 10^8}{0,046^2} \right) + 0,4045} = 4,556 \cdot 10^4 \text{ (Па)}.$$

По уравнению (3) определяем значения фактических перепадов давления при исследованиях

$$\Delta P_{m1} = 7 \cdot 10^4 + 2,856 \cdot 10^4 = 9,856 \cdot 10^4 \text{ (Па)};$$

$$\Delta P_{m2} = 10,25 \cdot 10^4 + 4,556 \cdot 10^4 = 14,806 \cdot 10^4 \text{ (Па)}.$$

По уравнению (7) определяем значение коэффициента трещиноватости этих горных пород

$$m_0 = 35,28 \sqrt[5]{\frac{5 \cdot 10^{-8} \cdot 1,31 \cdot 10^{-3} \lg \frac{5780}{0,046}}{1,48 \cdot 10^5 \cdot 62}} = 5,43 \cdot 10^{-8}$$

Так как величина  $k_0 < 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$ , расчет значений раскрытия трещин в направлении основных систем трещиноватости производим по уравнению (8)

$$\delta_0^{90} = 110 \sqrt{\frac{2,33 \cdot 10^{-12}}{5,43 \cdot 10^{-8}}} = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$\delta_0^{72} = 110 \sqrt{\frac{3,94 \cdot 10^{-12}}{5,43 \cdot 10^{-8}}} = 2,96 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Значение коэффициента увеличения раскрытия трещин определяем по уравнению (11)

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{3,64 \cdot 10^{-8}}{9,856 \cdot 10^4}} - \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 10^{-8}}{14,806 \cdot 10^4}}}{\sqrt[3]{\frac{3,64 \cdot 10^{-8}}{9,856 \cdot 10^4}} \cdot |9,856 - 14,806|} = 0,593 \cdot 10^{-6} \text{ (Па}^{-1}\text{)},$$

При проведении предварительной цементации данного скважина на скважине № 3 для определения коэффициента  $\beta$  производили закачку воды в скважину при двух различных режимах нагнетания. Результаты проведенных исследований для первого водовосного горизонта приведены в табл.3.

Таблица 3

Интервал глубины, м	Режим : иссле- : дова- : ния :	Давление : на пьезо- : оме $P_{п.}$ ; $10^5$ Па :	Расход во- : ды при ис- : следования : следующая : $Q_i, 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ :	Продолжи- : тельность : магнетая : т, мин :	Температу- : ре воды, : $t, ^\circ \text{C}$ :
27-54	I	6,8	2,77	9	+18 <sup>0</sup>
	II	2,3	1,19	21	+18 <sup>0</sup>
54-94,5	I	6,8	2,38	10,5	+12 <sup>0</sup>
	II	2,3	1,22	20,5	+12 <sup>0</sup>

Значения коэффициента увеличения раскрытия трещин  $\beta$  в данном случае рассчитывали также по уравнению (II), при этом фактический перепад давления при исследованиях определяли по формуле (12), принимая значения  $P_{ск}$  и  $P_{п.}$  равными 0 вследствие незначительной глубины залегания водоносного горизонта и малых гидравлических сопротивлений принятой в проекте конструкции магнетательного трубопровода, а значения  $P_{п.}$  определяли по уравнению (4) с учетом (5).

При расчете значений показателей скин-эффекта  $S_i$  учитывали уменьшение начальных значений проницаемости и пьезопроводности горного массива за счет его цементации через первые две скважины. Уменьшение начальных значений проницаемости и пьезопроводности производили пропорционально уменьшению удельного водопоглощения горного массива в процессе его цементации. Расчет значений коэффициента увеличения раскрытия трещины по результатам гидродинамических исследований, проведенных в скважине № 3, приведен ниже. Значения удельных водопоглощений для скважины № 1 и № 3 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Интервал глубины, м	Удельное водопоглощение, $\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{Па}$	
	скважина № 1	скважина № 3
27-54	5,01	2,3
54-94,5	2,55	1,31



Интервал глубины 27-54 м.

Определим коэффициент уменьшения проницаемости горного массива  $\gamma$

$$\gamma = \frac{2,3}{5,01} = 0,459$$

Определим значения коэффициентов проницаемости и пьезопроводности горного массива для скважины № 3

$$k_0 = 3,03 \cdot 10^{-12} \cdot 0,459 = 1,39 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^2\text{)},$$

$$\alpha = 2,26 \cdot 0,459 = 1,037 \text{ (м}^2\text{/с)}.$$

Определим значение фактического перепада давления для каждого режима исследования

$$S_1 = \frac{2,3 \cdot 14 \cdot 27 \cdot 1,39 \cdot 10^{-12} \cdot 6,8 \cdot 10^5}{1,00 \cdot 10^{-3} \cdot 2,77 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \ln \frac{1,037 \cdot 540}{0,046^2} - 0,4045 = 54,58;$$

$$S_2 = \frac{2,3 \cdot 14 \cdot 27 \cdot 1,39 \cdot 10^{-12} \cdot 2,3 \cdot 10^5}{1,05 \cdot 10^{-3} \cdot 1,19 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \ln \frac{1,037 \cdot 1260}{0,046^2} - 0,4045 = 35,93;$$

$$P_{s_1} = \frac{54,58 \cdot 6,8 \cdot 10^5}{54,58 + \frac{1}{2} \ln \frac{1,037 \cdot 540}{0,046^2} + 0,4045} = 6,03 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$P_{s_2} = \frac{35,93 \cdot 2,3 \cdot 10^5}{35,93 + \frac{1}{2} \ln \frac{1,037 \cdot 1260}{0,046^2} + 0,4045} = 1,92 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$\Delta P_{m_1} = 6,8 \cdot 10^5 - 6,03 \cdot 10^5 = 0,77 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$\Delta P_{m_2} = 2,3 \cdot 10^5 - 1,92 \cdot 10^5 = 0,38 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Определяем значение коэффициента увеличения раскрытия трещин для данного интервала глубины

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{2,77 \cdot 10^{-3}}{0,77 \cdot 10^5}} - \sqrt{\frac{1,19 \cdot 10^{-3}}{0,38 \cdot 10^5}}}{\sqrt{\frac{2,77 \cdot 10^{-3}}{0,77 \cdot 10^5}} | 0,77 - 0,38 | \cdot 10^5} = 1,158 \cdot 10^{-6} \text{ (Па}^{-1}\text{)} .$$

Интервал глубин 54-94,5.

Определяем коэффициент уменьшения проницаемости горного массива

$$\psi = \frac{1,31}{2,56} = 0,512 .$$

Определяем значения коэффициентов проницаемости и пьезопроводности горного массива для скважины № 3

$$k_0 = 3,03 \cdot 10^{-12} \cdot 0,512 = 1,55 \cdot 10^{-12} \text{ (м}^2\text{)} .$$

$$\kappa = 2,26 \cdot 0,512 = 1,157 \text{ (м}^2\text{/с)} .$$

Определяем значение фактического перепада давления для каждого режима исследования

$$S_1 = \frac{2,3 \cdot 14 \cdot 40,5 \cdot 1,55 \cdot 10^{-12} \cdot 6,8 \cdot 10^5}{1,24 \cdot 10^{-3} \cdot 2,38 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \ln \frac{1,157 \cdot 630}{0,046^2} - 0,4045 = 83,6 ;$$

$$S_2 = \frac{2,3 \cdot 14 \cdot 40,5 \cdot 1,55 \cdot 10^{-12} \cdot 2,3 \cdot 10^5}{1,24 \cdot 10^{-3} \cdot 1,22 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \ln \frac{1,157 \cdot 1230}{0,046^2} - 0,4045 = 52,9 ;$$

$$P_{S_1} = \frac{83,6 \cdot 6,8 \cdot 10^5}{83,6 + \frac{1}{2} \ln \frac{1,157 \cdot 630}{0,046^2} + 0,4045} = 6,27 \cdot 10^5 \text{ (Па)} ;$$

$$P_{32} = \frac{52,9 \cdot 2,3 \cdot 10^5}{52,9 + \frac{1}{2} \left( \frac{1,157 \cdot 1230}{0,045^2} + 0,4045 \right)} = 2,02 \cdot 10^5 \text{ (Па)} ;$$

$$\Delta P_{\text{на1}} = 6,8 \cdot 10^5 - 6,27 \cdot 10^5 = 0,53 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$\Delta P_{\text{на2}} = 2,3 \cdot 10^5 - 2,02 \cdot 10^5 = 0,28 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Определим значение коэффициента увеличения раскрытия трещин для данного интервала глубины

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{2,33 \cdot 10^{-3}}{0,53 \cdot 10^5}} - \sqrt[3]{\frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{0,28}}}{\sqrt[3]{\frac{2,36 \cdot 10^{-3}}{0,53 \cdot 10^5}} \left| 0,53 - 0,28 \right| 10^5}} = 0,206 \cdot 10^{-6} \text{ (Па}^{-1}\text{)} .$$

Определяем средневзвешенное значение коэффициентов увеличения раскрытия трещин, рассчитанных по данным замеров на скважине № 3.

$$\beta = \frac{\sum \beta_i \cdot H_i}{\sum H_i} ,$$

$$\beta = \frac{1,158 \cdot 10^5 \cdot 27 + 0,206 \cdot 10^6 \cdot 20}{53} = 0,69 \cdot 10^6 \text{ (Па}^{-1}\text{)} .$$

Незначительное отклонение средневзвешенного значения коэффициента  $\beta$ , полученного в результате гидродинамических исследований на скважине № 3, от его значения, полученного по данным откачек воды из разведочных скважин (соответственно  $0,69 \text{ МПа}^{-1}$  и  $0,59 \text{ МПа}^{-1}$ ), вызвано недостаточной точностью замеров расходов воды и давлений нагнетания при гидродинамическом исследовании на скважине № 3.

### 3.3. Расчет давлений нагнетания

По уравнениям (15) и (16) рассчитываем значения начального давления нагнетания на цементационном насосе по концентрациям, при этом значения  $P_{\text{сж}}$  и  $P_{\text{пл}}$  принимаем равными 0 вследствие незначительной глубины залегания водоносного горизонта и малых

гидравлических сопротивлений принятой в проекте конструкции магнеталитного трубопровода.

$$Ц:В = 1:4$$

$$P_{\text{гонт}} = 1,14 \cdot 10^4 \cdot 18 + (1,14 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) \cdot 9 = 2,18 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$P_0 = 3 \cdot 10^5 - 2,18 \cdot 10^5 \approx 0,8 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$Ц:В = 1:2$$

$$P_{\text{гонт}} = 1,27 \cdot 10^4 \cdot 18 + (1,27 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) \cdot 9 = 2,53 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$P_0 = 3 \cdot 10^5 - 2,53 \cdot 10^5 = 0,47 \cdot 10^5 \text{ (Па)}, \text{ принимаем}$$

$$P_0 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$Ц:В = 1:1$$

$$P_{\text{гонт}} = 1,51 \cdot 10^4 \cdot 18 + (1,51 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) \cdot 9 = 3,64 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$P_0 = 3 \cdot 10^5 - 3,64 \cdot 10^5 = -0,64 \cdot 10^5 \text{ Па, принимаем}$$

$$P_0 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$Ц:В = 1:0,5$$

$$P_{\text{гонт}} = 1,68 \cdot 10^4 \cdot 18 + (1,68 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4) \cdot 9 = 3,64 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$P_0 = 3 \cdot 10^5 - 3,64 \cdot 10^5 = -0,64 \cdot 10^5 \text{ (Па)}, \text{ принимаем}$$

$$P_0 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Табл. а 5

Значения начального давления магнеталита на цементационном впуске по концентрациям

Концентрация растворов Ц:В :	1:4	1:2	1:1	1:0,5
$P_0, 10^5 \text{ Па}$	0,8	0,5	0,5	0,5

Графически определяем размер меньшей полуоси эллипсовидной завесы вокруг скважины ( $R = 5$  м). Порядок определения  $R$  ясен из рис. 2.

М 1:200

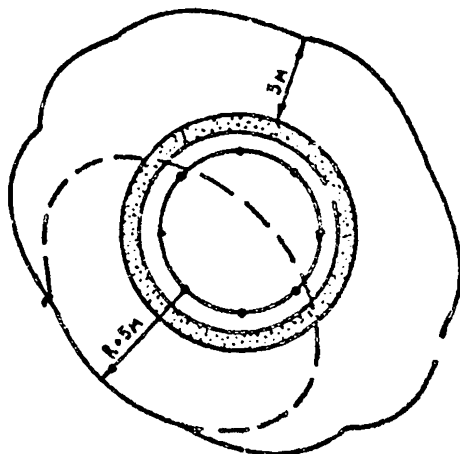


Рис. 2. Определение размера меньшей полуоси эллипсовидной пьезотационной завесы вокруг скважины

По уравнениям (18) и (19) рассчитываем значения конечного перепада давления  $\Delta P_K$  по концентрациям:

$$C:V = 1:4$$

$$\Delta P_K = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 \sqrt{2,28 \cdot 10^{-3} \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} \cdot 5}}{2,33 \cdot 10^{-12}} = 33,6 \cdot 10^5 \text{ (Па)} ;$$

$$C:V = 1:2$$

$$\Delta P_K = \frac{1,51 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \sqrt{2,28 \cdot 10^{-3} \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} \cdot 5}}{2,33 \cdot 10^{-12}} = 50,4 \cdot 10^5 \text{ (Па)} ;$$

$$C:B = 1:1$$

$$\Delta P_k = \frac{1,77 \cdot 10^{-3} \cdot 8,5 \sqrt{2,28 \cdot 10^{-3} \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} \cdot 5}}{2,33 \cdot 10^{-12}} = 83,7 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$C:B = 1:0,5$$

$$\Delta P_k = \frac{7,5 \cdot 2,28 \cdot 10^{-3} \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} \cdot 5}{2 \cdot 0,74 \cdot 2,33 \cdot 10^{-12}} = 1340 \cdot 10^5 \text{ (Па)} .$$

В дальнейших расчетах применение раствора концентрации  $C:B = 1:0,5$  исключаем, т.к. для нагнетания этого раствора в данном случае требуется очень большое давление ( $1340 \cdot 10^5$  Па).

Используя уравнение (20) определяем значения перепадов давления  $\Delta P'_k$  по концентрациям :

$$C:B = 1:4$$

$$\Delta P'_k = \frac{(2,5 \cdot 0,59 \cdot 10^{-6} \cdot 3,38 \cdot 10^6 + 1)^{1/2,5} - 1}{0,59 \cdot 10^{-6}} = 17,7 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$C:B = 1:2$$

$$\Delta P'_k = \frac{(2,5 \cdot 0,59 \cdot 10^{-6} \cdot 5,04 \cdot 10^6 + 1)^{1/2,5} - 1}{0,59 \cdot 10^{-6}} = 22,8 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$C:B = 1:1$$

$$\Delta P'_k = \frac{(2,5 \cdot 0,59 \cdot 10^{-6} \cdot 8,37 \cdot 10^6 + 1)^{1/2,5} - 1}{0,59 \cdot 10^{-6}} = 30,6 \cdot 10^5 \text{ (Па)} .$$

По уравнению (21) определяем значения конечных давлений нагнетания на цементационном насосе для первой скважины по концентрациям ;

$$C:B = 1:4, \quad P_k = 17,7 \cdot 10^5 - 2,2 \cdot 10^5 \approx 16 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$C:B = 1:2, \quad P_k = 22,8 \cdot 10^5 - 2,5 \cdot 10^5 \approx 20 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$H:B = 1:1, \quad P_k = 30,8 \cdot 10^5 - 3,6 \cdot 10^5 \approx 27 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Таблица 6

Значения конечных давлений нагнетания на цементационном насосе для первой скважины по концентрациям

Концент. раствора H:B :	1:4	:	1:2	:	1:1
$P_k, 10^5 \text{ Па}$	16		20		27

Конечные давления нагнетания на цементационном насосе для последующих скважин следует определять в процессе производства цементационных работ по уравнению (22).

#### 3.4. Определение окладного раскола тампонажных материалов

По формулам (25) и (26) определяем размеры полуосей эллипсоидной цементационной завесы вокруг скважины с учетом коэффициента  $\psi$ ,

$$r_{11} = 2 \times 5 = 10 \text{ (м)},$$

$$r_{22} = \frac{2 \times 5}{0,77} > 13 \text{ (м)}.$$

Графически строим суммарный контур цементационной завесы и определяем размеры полуосей описанного вокруг нее эллипса. Порядок построения суммарной цементационной завесы и определения размеров  $R_{11}$  и  $R_{22}$  ясен из рис. 3.

В данном, конкретном случае размеры  $R_{11}$  и  $R_{22}$  можно определить обходясь без графических построений, используя формулы:

$$R_{11} = r_{0c} + r_{11},$$

$$R_{22} = r_{0c} + r_{22},$$

где  $r_{0c}$  — радиус окружности  $\sim$  которой расположены цементационные скважины.

$$R_{11} = 3,25 + 10 = 13,25 \text{ (м)},$$

$$R_{22} = 3,25 + 13 = 16,25 \text{ (м)}.$$

По уравнению (20) определяем площадь суммарной цементационной завесы

$$S = 3,14 \cdot 13,25 \cdot 16,25 = 676, \text{ (м}^2\text{)}.$$

М 1:400

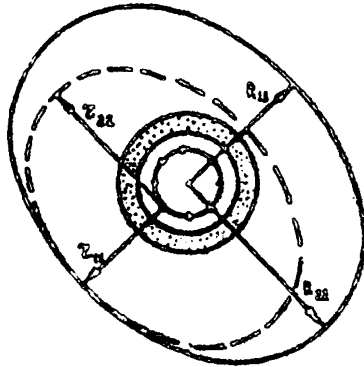


Рис.3. Определение размеров полуосей эллипса ( $R_{11}$  и  $R_{22}$ ), описанного вокруг суммарной цементационной завесы

Используя уравнение (30), определим удельное водопоглощение на первой скважине

$$q_1 = \frac{5 \cdot 10^{-8}}{62 \cdot 1,48 \cdot 10^5} = 5,45 \cdot 10^{-10} \text{ (м}^2\text{/с} \cdot \text{Па)}.$$

Определяем значение  $\Delta P'_{к(ср)}$ ,

$$\Delta P'_{к(ср)} = \frac{(17,7 + 22,8 + 30,8) \cdot 10^5}{3} = 23,7 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

По уравнению (29) определяем значение  $\Delta P_{кп}$ .



$$\Delta P'_{кп} = 23,7 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{5,45 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 10^{-11}} \right)^{0,275} = 52,6 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Определяем значение  $\Delta P_{ср}$ ,

$$\Delta P_{ср} = \frac{1}{2} (23,7 \cdot 10^5 + 52,6 \cdot 10^5) = 38 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

По уравнению (24) определяем ожидаемый расход цемента, кг.

$$G = \frac{1}{3} 676,1 \cdot 5,43 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 1,5 \cdot 10^3 (3 + 0,59 \cdot 10^{-6} \cdot 3,8 \cdot 10^5) = 510000 \text{ кг}$$

Количество других составляющих цементационного раствора (химические добавки) принимают согласно рекомендациям [ 2 ].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по производству предварительной цементации горных пород при проходке вертикальных стволов шахт глубиной до 400-500 м (временное) / Под общей ред. Н.Г.Трупака. - Кемерово, 1972 / Кузнецкшахтострой .

2. Альбом технологических схем предварительного тампонирувания водоносных горных пород при сооружении вертикальных стволов шахт.- Кемерово, 1979 / (Кузнецкшахтострой) .

3. Технологические схемы упрочнения массивов горных пород цементацией при проведении капитальных горных выработок в зонах геологических нарушений.- Кемерово, 1980 / Кузнецкшахтострой .

4. МИТЕЛЬМАН Б.И. Справочник по гидравлическим расчетам в бурении.- М.: Гостоптехиздат , 1968.

5. БУЗИНОВ С.Н., УМРИХИН И.Д. Гидродинамические методы исследования скважин и пластов.- М.: Недра, 1973.

6. Справочник по сооружению шахтных стволов специальными способами/ Под общ. ред. проф., д-ра техн. наук Н.Г.Трупака. - М.: Недра, 1980, 391 с.

7. КОТЯКОВ Ф.И. Основы фланки нефтяного пласта. - М.: Гостехиздат 1956.

8. ГОЛДЕН Н.Т. Определение параметров трещиноватости горных пород при проектировании тампонажных завес. - "Шахтное строительство", 1982, № II.

9. А.с. 1335229 (СССР). Способ цементации горных пород/ Кузнецкшахтострой; Авт. изобрет. В.А.Хляляйнов, А.Э.Углиншица. Опубликовано в Б.И., 1983 г., № 30.

10. КОТЯКОВ Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов. - М.: Недра, 1977.

11. ХЛЯЛЯЙНЕН В.А. О гидравлических расчетах параметров цементации трещиноватых горных пород нестабильными цементационными суспензиями. - "Шахтное строительство", 1977, № 8.

12. ВАХРАМБЕВ И.И. Теоретические основы тампонажа горных пород. - М.: Недра, 1968.

13. ХЛЯЛЯЙНЕН В.А., ДУДА Е.Г., УГЛЯНИЦА А.В. Фильтрация цементных растворов в деформируемых трещиноватых породах. - "СЛРП", 1983, № 2.

14. УГЛЯНИЦА А.В. Влияние деформируемости горного массива на выбор параметров технологии цементации. - В сб.: Вопросы техники и технологии строительства угольных шахт и разрезов. - Кемерово, 1983 (Науч.тр./ Кузнецкшахтоострой).

15. ДУДА Е.Г. Выбор способа нагнетания при цементации трещиноватых горных пород. - "Шахтное строительство", 1979, № 9.

16. БУРДУН Г.Д. Справочник по международной системе единиц. - М.: Изд-во стандартов, 1977.

## Приложение I

Соотношение единиц системы СИ с единицами других систем [16] .

Единицы давления:

$$1 \text{ Па} = 0,102 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \approx 0,102 \cdot 10^{-4} \text{ атм} \approx 0,102 \cdot 10^{-5} \text{ МПа} \approx 0,102 \cdot 10^{-3} \text{ м вод.ст.}$$

Единицы удельного веса:

$$1 \text{ н/м}^3 = 0,102 \cdot 10^{-3} \text{ тс/м}^3 \approx 0,102 \cdot 10^{-3} \text{ тс/см}^3$$

Единицы проницаемости:

$$1 \text{ м}^2 = 9,81 \cdot 10^{11} \text{ дарси}$$

Единицы динамической вязкости:

$$1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 10 \text{ Пз} = 10^3 \text{ сП} = 0,102 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

Единицы коэффициента увеличения раскрытия трещины:

$$1 \text{ Па}^{-1} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ МПа}^{-1} = 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{см}^2}{\text{кгс}}$$

Единицы удельного водопоглощения:

$$1 \text{ м}^2/\text{с} \cdot \text{Па} \approx 0,167 \cdot 10^{-8} \text{ л/мин} \cdot \text{м} \cdot \text{м вод.ст.}$$

Приложение 2

Эласто-механические свойства цементационного раствора  
и воды

Таблица 1

Значения  $\mu_b$  в зависимости от температуры подземных вод

Температура подземной воды, град	4	6	8	10	12	14	16	18
$\mu_b, 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$	1,57	1,47	1,39	1,31	1,24	1,17	1,12	1,06

Таблица 2

Значения  $\gamma_p, \mu_p, a$  и  $K$  в зависимости от концентрации  
раствора

Состав раствора:		$\gamma_p$	$\mu_p$	$a$	$K$
цемент : вода		$10^4 \text{ н/м}^3$	$10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$		
I	4	1,14	1,35	4,5	1,3
I	2	1,27	1,51	6,0	1,4
I	I	1,51	1,77	8,5	1,5
I	0,5	1,82	-	-	1,6

Определение коэффициента трещинной анизотропии  
горных пород

Форма цементационной завесы определяется трещинной анизотропией горных пород, характеризующейся соотношением проницаемости основных систем трещин и соответствует форме гидроизогипис, построенных для данного водоносного горизонта.

Для построения плана гидроизогипис необходимо, чтобы в одной из разведочных скважин, расположенных в центре, искусственно нарушали статическое равновесие в системе скважина-водоносный горизонт откачкой или нагнетанием воды в скважину и одновременно производили замеры динамических уровней в других скважинах.

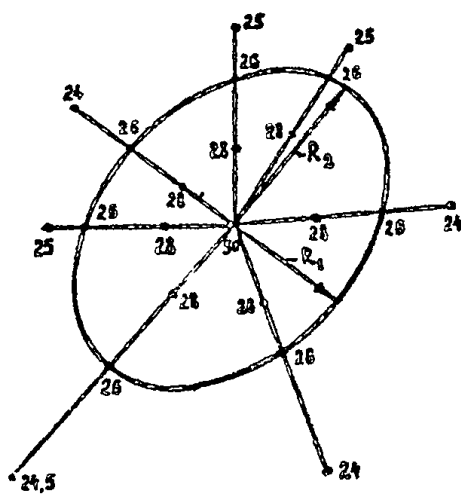
Такие исследования производят геолого-разведочные организации в процессе гидрогеологической разведки горного массива под сооружаемую выработку. Результаты этих исследований приводят в гидрогеологическом заключении.

Поэтому для построения плана гидроизогипис на топографическую основу необходимо нанести местоположение скважин (см. рисунок), относительные или абсолютные отметки установившихся динамических уровней воды в них, соединить на плане центральную скважину прямыми линиями с наблюдательными и произвести интерполяцию полученных отрезков по замеренным уровням воды в скважинах. Через точки с одинаковыми отметками провести гидроизогиписы.

Если гидроизогипис, построенные вокруг центральной скважины, имеют вытянутую, эллипсообразную форму, то необходимо определять коэффициент трещинной анизотропии горных пород из уравнения

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{k_0''}{k_0'^2}} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (31)$$

где  $\frac{R_1}{R_2}$  — отношение полуосей эллипсов образуемых гидроизогиписами.



Построение плана гидроизогиале

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Принятые обозначения . . . . .	3
В в е д е н и е . . . . .	7
1. Определекие давления нагнетания цементацион- ных растворов . . . . .	8
2. Определекие расхода тампонажных материалов . .	15
3. Пример расчета . . . . .	17
Список использованной литературы . . . . .	31
П р е л о ж е н и я . . . . .	33

### РЕКОМЕНДАЦИИ

по определению давления нагнетания и расхода  
тампонажных материалов при предварительной цементации  
трещиноватых пород вокруг капитальных горных выработок

---

Ответственный за выпуск Бурков В.В.

Корректор Гуклина-Квятковская Л.Ф.

---

Подписано к печати 11.09.84 г.                      Формат 60x90 1/16.  
Печ.л. 2,3.    Тираж 100 экз.    Заказ № 88.    Цена 50 коп.

---

Отпечатано на ротационной машине  
Комарово, ул. Институтская, 1