Министерство угольной промышленности СССР

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

РЕКОМЕНДАЦИИ

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

Кемерово
1984

gost.e-ecolog.ru

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. — — 1. 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-I

Министерство угольной промышленности СССР

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

Утверждено
Заместителем директора по
научной работе института
"Кузнишахтострой", 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 НАГНЕТАНИЯ И РАСХОДА ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД ВОКРУГ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Кемерово
1984

АННОТАЦИЯ

В работе предложен инженерный метод расчета давлений 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 Хямяляйненым В.А. и инж. Угляницей А.В.

Принятые обозначения

$k_ф$ – коэффициент фильтрации горного массива (принимают из гидрогеологического заключения), м/с;

k_o'' и k_o'' – коэффициенты проницаемости в направлении основных систем трещиноватости, м^2;

k_o – средний коэффициент проницаемости горного массива, м^2;

$\mu_в$ – коэффициент динамической вязкости воды, Па·с;

$\gamma_в$ – удельный вес воды, н/м^3;

ε – коэффициент трещинной анизотропии;

$\Delta P_{пл_i}$ – фактический перепад давления при исследованиях, Па;

i – индекс, указывающий номер режима при проведении гидродинамических исследований в скважине;

ΔP_{3i} – замеренный перепад давления при исследованиях в системе "скважина-водоносный горизонт", принимаемый равным разности статического и установившегося динамического уровня воды в скважине (принимают из гидрогеологического заключения), Па;

Q_i – расход воды при исследованиях (принимают из гидрогеологического заключения), м^3/с;

P_{Si} – потери давления в призабойной зоне (снижение проницаемости при кольматации трещин в процессе бурения), Па;

S_i – показатель скин-эффекта;

$\varkappa$ – коэффициент пьезопроводности водоносного горизонта (принимают из гидрогеологического заключения), м^2/с;

t_i – продолжительность исследований (принимают из гидрогеологического заключения), с;

r – радиус скважины (принимают из гидрогеологического заключения), м;

M – мощность водоносного горизонта (принимают из гидрогеологического заключения), м;

$R_в$ – радиус влияния скважины (принимают из гидрогеологического заключения), м;

m_o – коэффициент трещиноватости горного массива;

δ_o – среднее раскрытие трещин, м;

δ_o^I и δ_o^{II} – среднее раскрытие трещин в направлении основных систем трещиноватости, м;

β – коэффициент увеличения раскрытия трещин, $Па^{-1}$;

μ – коэффициент Пуассона (принимают из гидрогеологического заключения);

E – модуль Юнга (принимают из гидрогеологического заключения), Па;

$P_{нi}$ – 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;

$P_{ск}$ – потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений скважины, Па;

$P_{нт}$ – потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений нагнетательного трубопровода, Па;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления скважины;

l – расстояние от устья скважины до середины цементационной заходки, м;

g – ускорение силы тяжести, $м/с^2$;

d – диаметр скважины (принимают из гидрогеологического заключения), м;

K – коэффициент, учитывающий увеличение гидравлических сопротивлений при переходе от нагнетания воды к нагнетанию раствора;

$Q_р$ – средний расход цементного раствора при тампонировании, $м^3/с$;

q_i – массовый расход воды при исследованиях (принимают 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;

ΔP_0 – начальный перепад давления по длине пот ка раствора в трещинах, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений трещин вблизи скважины, Па;

$P_{доп}$ – дополнительное давление, обусловленное весом раствора в вертикальной части нагнетательного трубопровода и скважине, противодавлением пластовых вод и гидравлическим сопротивлением скважины и трубопровода, Па;

$\gamma_р$ – удельный вес раствора, н/м^3;

$h_в$ – расстояние от статического уровня подземных вод до верхней отметки цементируемых пород, по вертикали, м;

$\Delta P_к$ – конечный перепад давления по длине потока растворов в трещинах для первой скважины без учета деформируемости массива, Па;

$\mu_р$ – динамическая вязкость раствора, Па·с;

a – эмпирический коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В), м$^{4.5}$/с;

R – меньшая полуось эллипсоидной цементационной завесы вокруг скважины (если коэффициент анизотропии горных пород неизвестен, то под R подразумевают радиус распространения раствора вокруг скважины), м;

τ_0 – предельное напряжение сдвига отвильных цементационных растворов, Па;

α – эмпирический коэффициент;

n – коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В);

$\Delta P'_к$ – конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для первой скважины с учетом деформируемости массива, Па;

$P_к$ – конечное давление нагнетания на цементационном насосе для первой скважины, Па;

$P'_к$ – конечное давление нагнетания на цементационном насосе для последующих скважин, Па;

q_1 – удельное водопоглощение на первой скважине, м^2/с·Па;

q – удельное водопоглощение очередной скважины на этом же тампонируемом участке, м^2/с·Па;

m – коэффициент, зависящий от цементно-водного массового отношения раствора (Ц:В);

ψ – коэффициент запаса;

γ – количество цемента, необходимое для образования 1 м^3 тампонажного камня, кг/м^3;

G – количество цемента, необходимое для создания цементационной завесы, кг;

L – длина цементационной скважины или заходки, м;

R_{11} и R_{22} – полуоси эллипса, описанного вокруг цементационной завесы, м;

S – площадь цементационной завесы, $м^2$;

$\Delta P_{ср}$ – среднеарифметическое значение конечных перепадов давления по длине потока раствора в трещинах по скважинам, Па;

$\Delta P'_{кп}$ – конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для последней скважины с учетом деформируемости массива, Па;

$q_п$ – удельное водопоглощение на последней скважине, $м^2/с \cdot Па$;

γ – коэффициент, учитывающий уменьшение проницаемости горного массива в процессе его цементации;

$\Delta P'_{к(ср)}$ – среднеарифметическое значение перепадов давления $\Delta P'_к$ по принятым концентрациям цементационного раствора.

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

ВВЕДЕНИЕ

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 "Кузнишахтострой" (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.I. К нагнетанию раствора следует приступать при начальном давлении, обеспечивающем преодоление гидравлических сопротивлений трещин вблизи скважин, и оканчивать нагнетание при конечном давлении, соответствующем требуемой величине радиуса распространения раствора вокруг скважины.

Для определения конечного давления нагнетания предварительно рассчитывают гидрогеологические параметры подлежащего тампонированию 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:

$$k_o = \frac{k_\varphi \mu_в}{\gamma_в} \quad . \qquad (I)$$

Значения k_φ для каждого выявленного водоносного горизонта принимают из гидрогеологического заключения.

Значения $\mu_в$ 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]

$$\begin{cases} k_o = \sqrt{k_o^{I} \cdot k_o^{II}} \\ \varepsilon = \sqrt{k_o^{I} / k_o^{II}} \end{cases} \quad . \qquad (2)$$

Методика определения коэффициента ε приведена в приложении 3.

I.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

$$\Delta P_{пл_i} = \Delta P_{3i} \pm P_{si} \quad , \tag{3}$$

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

Потери напора P_{si} определяют по уравнению Херста и Ван Эвердингера [5].

$$P_{si} = \frac{\Delta P_{3i} \cdot S_i}{S_i + \frac{1}{2} \ln \frac{\varkappa t_i}{r^2} + 0,4045} , \tag{4}$$

где $$S_i = \frac{2\pi M k_3 \Delta P_{3i}}{Q_i \mu_в} - \frac{1}{2} \ln \frac{\varkappa t_i}{r^2} - 0,4045 . \tag{5}$$

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

$$\varkappa = \frac{R_в^2}{2,25 t_i} . \tag{6}$$

I.4. Коэффициент трещиноватости горных пород определяют по уравнению Ф.И.Котяхова [7].

$$m_т = 35,28 \sqrt[3]{\frac{Q_i \mu_в \lg \frac{R_в}{r}}{\Delta P_{пл_i} M}} . \tag{7}$$

I.5. Среднее раскрытие трещин определяют по формулам Н.Т.Логачева [8]

$$\delta_0 = 110\sqrt{\frac{k_0}{m_0}}, \qquad \text{при} \quad k_0 \le 7{,}5\cdot10^{-9}\ \text{м}^2\ ; \qquad (8)$$

$$\delta_0 = \frac{k_0^2}{16{,}8\cdot10^{-14}\, m_0^2}, \qquad \text{при} \quad k_0 > 7{,}5\cdot10^{-9}\ \text{м}^2\ . \qquad (9)$$

Если предварительно были определены значения коэффициентов проницаемости в направлении основных систем трещиноватости k_0^{11} и k_0^{22} (см. раздел I.2), то по формулам (8) и (9) рассчитывают среднее раскрытие трещин в этих системах δ_0^{11} и δ_0^{22}.

I.6. Коэффициент увеличения раскрытия трещин β 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 β определяют отдельно для каждой литологической разности вскрытых скважиной горных пород из уравнения (9)

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

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

Гидродинамически коэффициент β определяют приближенно по уравнению С.И.Котяхова [10]

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{Q_1}{\Delta P_{пл1}}} - \sqrt[3]{\frac{Q_2}{\Delta P_{пл2}}}}{\sqrt[3]{\frac{Q_1}{\Delta P_{пл1}}}\cdot\left|\Delta P_{пл1} - \Delta P_{пл2}\right|}\ , \qquad (11)$$

где $\Delta P_{пл_1} > \Delta P'_{пл_2}$ – при нагнетании воды в скважину и

$\Delta P_{пл_1} < \Delta P_{пл_2}$ – при откачке воды из скважины.

Необходимым условием для расчета β 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 $\Delta P_{пл_i}$ определяют согласно требованию раздела I.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 β 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 $\frac{Q_i}{\Delta P_{пл_i}}$ и по уравнению (II) рассчитывают величину коэффициента β. При этом $\Delta P_{пл_i}$ определяют по уравнению

$$\Delta P_{пл_i} = P_{н_i} + \gamma_в h_{от} - (P_{s_i} + P_{ск} + P_{нт}), \qquad (I2)$$

где потери напора P_{s_i} 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)

$$P_{ск} = \lambda \frac{8}{\pi^2 g d^5} l Q_i^2 . \qquad (I3)$$

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

Первый раз нагнетание воды в скважину производят при давлении на цементационном насосе $P_{н_1}$ = 0,3–0,5 МПа, во второй раз при $P_{н_2}$ = 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 закрытой схеме нагнетания выражается в прекращении колебания давления нагнетания $P_{нi}$, 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, с использованием программ множественной корреляции согласно уравнению

$$\Delta P_{вл_i} \pm \frac{3}{2} \beta_a P^2_{пл_i} = cq_i + Bq_i^2 \quad . \qquad (I4)$$

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

I.7. Начальное давление нагнетания на цементационном насосе определяют по формуле

$$P_o = \Delta P_o - P_{доп} \quad . \qquad (I5)$$

где $$P_{доп} = \gamma_р h_{ст} + (\gamma_р - \gamma_в) h_в - (P_{ск} + P_{нт}) \, . \qquad (I6)$$

При расчете начального давления нагнетания значение ΔP_o принимают равным $I \cdot I0^5 - 3 \cdot I0^5$ Па.

При получении в формуле (I5) значений $P_o < 0{,}5 \cdot I0^5$ Па с целью контроля непрерывности потока раствора в скважине следует принимать $P_o = 0{,}5 \cdot I0^5$ Па.

Потери напора $P_{нт}$ и $P_{ск}$ определяют согласно рекомендациям раздела I.6, рассчитывая при этом величину $P_{ск}$ по уравнению

$$P_{ск} = \kappa \lambda \frac{\delta}{\pi^2 g d^5} l Q_р^2 \quad . \qquad (I7)$$

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

I.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 Ц:В ≤ I:I) определяют по уравнению (I6), а для стабильных (цементно-водное массовое отношение Ц:В > I:I) по уравнению (I9) [II, I2]

$$\Delta P_к = \frac{\mu_р a \sqrt{\delta_o''}\, m_o R}{k_o''}, \qquad (I8)$$

$$\Delta P_к = \frac{\tau_o \delta_o'' m_o R}{2 d k_o''}, \qquad (I9)$$

где $k_o'' < k_o^{22}$.

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

Значения τ_o принимают от 0,75 до 7,5 Па соответственно для концентраций I:0,8 ≥ Ц:В ≥ I:0,5, а для растворов с другими концентрациями следует определять в лабораторных условиях.

Коэффициент d , который характеризует отношение трещинной проницаемости горного массива при течении цементационного раствора к проницаемости при течении в нем воды, принимают 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 систем трещиноватости не определены, то для расчета следует использовать их средние значения.

I.9. Конечный перепад давления по длине потока раствора в трещинах для первой скважины, с учетом деформируемости массива, определяют по формуле [I3]

$$\Delta P_к' = \frac{(n\beta \Delta P_к + 1)^{1/n} - 1}{\beta}. \qquad (20)$$

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

I.IO. Конечное давление нагнетания на цементационном насосе для первой скважины определяют по формул

$$P_к = \Delta P_к' - P_{доп}, \qquad (2I)$$

где $P_{доп}$ определяют по уравнению (I6).

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

$$P_к' = \Delta P_к' \left(\frac{q_1}{q}\right)^m - P_{доп}, \qquad (22)$$

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

I.I2. При разработке проекта по предварительной цементации для каждого выявленного водоносного горизонта вначале определяют $P_{доп}$, P_0 и $\Delta P_к$, и если коэффициент β был определен по данным гидрогеологического заключения, то определяют $\Delta P_к'$ и $P_к$. Если в проекте предусматривают коэффициент β определять в процессе проведения цементационных работ, то значения $\Delta P_к'$ и $P_к$ 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 водопоглощения 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 [I4]

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

При отсутствии данных об анизотропии горного массива принимают $\delta = I$.

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

Значение γ зависит от давления нагнетания, продолжительности опрессовки цементационного раствора в скважине и определяется остаточным цементно-водным отношением. В практических расчетах принимают $\gamma = I,5 \cdot I0^3$ кг/м^3, что соответствует Ц:В=I:0.32 [I5].

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

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

Контур полученной цементационной завесы определяют путем графического построения контуров распространения тампонажных растворов вокруг одиночных скважин, при этом, если значение δ известно, форму цементационной завесы вокруг одиночной скважины принимают в виде эллипса с полуосями, равными

$$r_{21} = \psi R \quad . \tag{25}$$

$$r_{22} = \frac{r_{21}}{\delta} = \frac{\psi R}{\delta} \quad , \tag{26}$$

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

$$r' = \psi R \quad . \tag{27}$$

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

При расположении цементационных скважин вблизи контура сечения сооружаемой выработки величину S принимают при известном значении коэффициента δ равной площади эллипса, а при неизвестном его значении – равной площади круга, описанного вокруг суммарной цементационной завесы. Площадь эллипса при этом определяют по уравнению

$$S = \pi R_{21} \cdot R_{22} \quad . \tag{28}$$

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

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

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

где $q_п$ принимают равным $(2,5 \div 3,3)10^{-11}$ м^2/с·Па ($0,015 \div 0,02$ л/мин·м·м вод.ст.).

Удельное водопоглощение на первой скважине q_1 опреде-

ляют по формуле

$$q_1 = \frac{Q_1}{M \Delta P_{пл_1}} , \qquad (30)$$

где $\Delta P_{пл_1}$ определяют из уравнения (3).

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

3. Пример расчета

3.I. Исходные данные для расчета

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

диаметр ствола в свету	6,5 м
диаметр ствола в проходке	7,5 м
расстояние от статического уровня подземных вод до поверхности земли	I8 м
мощность водоносного горизонта (М)	62м (от I8 до 80 м)
радиус разведочных скважин r	0,046 м
температура подземных вод t	I0°С
расчетное значение радиуса влияния скважины $R_в$	5780 м
расчетное значение коэффициента фильтрации $k_ф$	$2,3I \cdot I0^{-5}$ м/с
расчетное значение коэффициента пьезопроводности $\varkappa$	2,26 $м^2/с$

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

Таблица I

Интервал глубины, м	Режим исследования	Понижение уровня воды в скважине ΔP_{3i}, м	Расход воды при исследовании $Q_i \cdot 10^{-4}$ м/с	Продолжительность откачки t_i, ч
I8–80	I	7	3,64	93
	II	I0,25	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 ε и использования 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 скважинах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скважина №I (центральная), м	Скважина №2 (наблюдательная), м	Скважина №3 (наблюдательная), м	Скважина №4 (наблюдательная), м	Скважина №5 (наблюдательная), м
26	22,I	22,2	22,2	22,6

Согласно рекомендациям [2] цементацию будем производить из технологической части ствола, пройденной до глубины 27 м, через 8 вертикальных скважин, расположенных на окружности 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 (I) рассчитываем коэффициент средней проницаемости горного массива

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

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

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

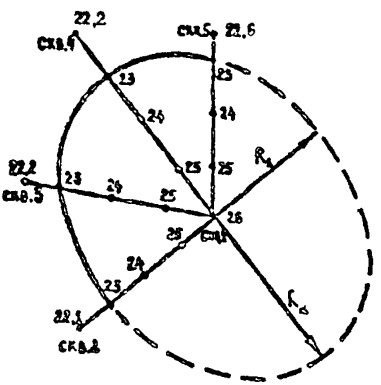


Рис.I. Построение плана гидроизогипс

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

$$\begin{cases} 3{,}03\cdot10^{-12} = \sqrt{k_o^{11}\cdot k_o^{22}}, & k_o^{11} = 2{,}33\cdot10^{-12}\ (м^2), \\ 0{,}77 = \sqrt{k_o^{11}/k_o^{22}}, & k_o^{22} = 3{,}94\cdot10^{-12}\ (м^2). \end{cases}$$

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

$$S_1 = \frac{2\cdot3{,}14\cdot62\cdot3{,}03\cdot10^{-12}\cdot7\cdot10^{4}}{3{,}64\cdot10^{-8}\cdot1{,}31\cdot10^{-3}} - \frac{1}{2}\ln\frac{2{,}26\cdot334{,}8\cdot10^{3}}{0{,}046^2} -$$

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

$$S_2 = \frac{2\cdot3{,}14\cdot62\cdot3{,}03\cdot10^{-12}\cdot10{,}25\cdot10^{4}}{5\cdot10^{-3}\cdot1{,}31\cdot10^{-3}} - \frac{1}{2}\ln\frac{2{,}26\cdot337{,}7\cdot10^{3}}{0{,}046^2} -$$

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

$$P_{s_1} = \frac{7\cdot10^{4}\cdot7{,}067}{7{,}067+\frac{1}{2}\ln\frac{2{,}26\cdot334{,}8\cdot10^{3}}{0{,}046^2}+0{,}4045} = 2{,}856\cdot10^{4}\ (Па);$$

$$P_{s_2} = \frac{10{,}25\cdot10^{4}\cdot8{,}206}{8{,}206+\frac{1}{2}\ln\frac{2{,}26\cdot337{,}7\cdot10^{3}}{0{,}046^2}+0{,}4045} = 4{,}556\cdot10^{4}\ (Па).$$

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

$$\Delta P_{m_1} = 7\cdot10^{4} + 2{,}856\cdot10^{4} = 9{,}856\cdot10^{4}\ (Па);$$

$$\Delta P_{m_2} = 10{,}25\cdot10^{4} + 4{,}556\cdot10^{4} = 14{,}806\cdot10^{4}\ (Па).$$

По уравнению (7) определяем значение коэффициента трещиноватости горных пород

$$m_0 = 35{,}28 \sqrt[5]{\frac{5\cdot10^{-3}\cdot1{,}31\cdot10^{-3}\lg\frac{5780}{0{,}046}}{1{,}48\cdot10^{5}\cdot62}} = 5{,}43\cdot10^{-3}$$

Так как величина $k_0 < 7{,}5\cdot10^{-9}$ м^2, расчет значений раскрытия трещин в направлении основных систем трещиноватости производим по уравнению (8)

$$\delta_0^{I} = 110\sqrt{\frac{2{,}33\cdot10^{-12}}{5{,}43\cdot10^{-3}}} = 2{,}28\cdot10^{-3}\ (\text{м});$$

$$\delta_0^{II} = 110\sqrt{\frac{3{,}94\cdot10^{-12}}{5{,}43\cdot10^{-3}}} = 2{,}96\cdot10^{-3}\ (\text{м}).$$

Значение коэффициента увеличения раскрытия трещин определяем по уравнению (II)

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{3{,}64\cdot10^{-3}}{9{,}856\cdot10^{4}}} - \sqrt[3]{\frac{5\cdot10^{-3}}{14{,}806\cdot10^{4}}}}{\sqrt[3]{\frac{3{,}64\cdot10^{-3}}{9{,}856\cdot10^{4}}}\cdot\left|9{,}856 - 14{,}806\right|} = 0{,}593\cdot10^{-6}\ (\text{Па}^{-1}),$$

При проведении предварительной цементации данного ствола на скважине № 3 для определения коэффициента β производили закачку воды в скважину при пяти различных режимах нагнетания. Результаты проведенных исследований для первого водоносного горизонта приведены в табл.3.

Таблица 3

Интервал глубин, м	Режим исследования	Давление на пласте $P_{пл}$, 10^5 Па	Расход воды при исследовании Q_i, 10^{-3} м³/с	Продолжительность нагнетания t, мин	Температура воды, t °C
27–54	I	6,8	2,77	9	+18°
	II	2,3	I,I9	2I	+18°
54–94,5	I	6,8	2,38	I0,5	+I2°
	II	2,3	I,22	20,5	+I2°

Значения коэффициента увеличения раскрытия трещин β в данном случае рассчитывали также по уравнению (II), при этом фактический перепад давления при исследованиях определяли по формуле (I2), принимая значения $P_{ск}$ и $P_{нт}$ равными 0 вследствие незначительной глубины залегания водоносного горизонта и малых гидравлических сопротивлений принятой в проекте конструкции нагнетательного трубопровода, а значения P_{si} 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 пьезопроводимости производили пропорционально уменьшению удельного водопоглощения горного массива в процессе его цементации. Расчет значений коэффициента увеличения раскрытия трещин по результатам гидродинамических исследований, проведенных в скважине № 3, приведен ниже. Значения удельных водопоглощений для скважин № I и № 3 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Интервал глубины, м	Удельное водопоглощение, $м^2/с \cdot Па$	
	скважина № I	скважина № 3
27–54	5,0I	2,3
54–94,5	2,56	I,3I

Интервал глубины 27–54 м.

Определим коэффициент уменьшения проницаемости горного массива γ

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

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

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

$$\varkappa = 2,26 \cdot 0,459 = 1,037 \ (м^2/с).$$

Определяем значение фактического перепада давления для каждого режима исследования

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

$$= 54,58;$$

$$S_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 27 \cdot 1,39 \cdot 10^{-12} \cdot 2,3 \cdot 10^5}{1,06 \cdot 10^{-3} \cdot 1,19 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{2} \ln \frac{1,037 \cdot 1260}{0,046^2} - 0,4045 =$$

$$= 35,93;$$

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

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

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

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

Определяем значение коэффициента увеличения раскрытия трещин для данного интервала глубин

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{2,77\cdot10^{-3}}{0,77\cdot10^{5}}} - \sqrt[3]{\frac{1,19\cdot10^{-3}}{0,38\cdot10^{5}}}}{\sqrt[3]{\frac{2,77\cdot10^{-3}}{0,77\cdot10^{5}}}\,|0,77-0,38|\cdot10^{5}} = 1,158\cdot10^{-6}\ (\text{Па}^{-1}).$$

Интервал глубин 54–94,5.

Определяем коэффициент уменьшения проницаемости горного массива

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

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

$$k_0 = 3,03\cdot10^{-12}\cdot0,512 = 1,55\cdot10^{-12}\ (\text{м}^2),$$

$$\varkappa = 2,26\cdot0,512 = 1,157\ (\text{м}^2/\text{с}).$$

Определяем значение фактического перепада давления для каждого режима исследования

$$S_1 = \frac{2\cdot3,14\cdot40,5\cdot1,55\cdot10^{-12}\cdot6,8\cdot10^{5}}{1,24\cdot10^{-3}\cdot2,38\cdot10^{-3}} - \frac{1}{2}\ln\frac{1,157\cdot630}{0,046^2} - 0,4045 =$$

$$= 83,6;$$

$$S_2 = \frac{2\cdot3,14\cdot40,5\cdot1,55\cdot10^{-12}\cdot2,3\cdot10^{5}}{1,24\cdot10^{-3}\cdot1,22\cdot10^{-3}} - \frac{1}{2}\ln\frac{1,157\cdot1230}{0,046^2} -$$

$$- 0,4045 = 52,9;$$

$$P_{S_1} = \frac{83,6\cdot6,8\cdot10^{5}}{83,6 + \frac{1}{2}\ln\frac{1,157\cdot630}{0,046^2} + 0,4045} = 6,27\cdot10^{5}\ (\text{Па});$$

$$P_{s2} = \frac{52,9 \cdot 2,3 \cdot 10^5}{52,9 + \frac{1}{2}\left(\ln \frac{1,157 \cdot 1230}{0,046^2} + 0,4045\right.} = 2,02 \cdot 10^5 \text{ (Па)};$$

$$\Delta P_{ш1} = 6,8 \cdot 10^5 - 6,27 \cdot 10^5 = 0,53 \cdot 10^5 \text{ (Па)},$$

$$\Delta P_{ш2} = 2,3 \cdot 10^5 - 2,02 \cdot 10^5 = 0,28 \cdot 10^5 \text{ (Па)}.$$

Определяем значение коэффициента увеличения раскрытия трещин для данного интервала глубины

$$\beta = \frac{\sqrt[3]{\frac{2,38 \cdot 10^{-3}}{0,53 \cdot 10^5}} - \sqrt[3]{\frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{0,28}}}{\sqrt[3]{\frac{2,38 \cdot 10^{-3}}{0,53 \cdot 10^5}} \left| 0,53 - 0,28 \right| 10^5} = 0,206 \cdot 10^{-6} \text{ (Па}^{-1}\text{)}.$$

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

$$\beta = \frac{\Sigma \beta_i H_i}{\Sigma H_i},$$

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

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

3.3. Расчет давлений нагнетания

По уравнениям (I5) и (I6) рассчитываем значения начального давления нагнетания на цементационном насосе по концентрациям, при этом значения $P_{ск}$ и $P_{нт}$ принимаем равными 0 вследствие незначительной глубины залегания водоносного горизонта и малых

гидравлических сопротивлений принятой в проекте конструкции нагнетательного трубопровода.

Ц:В = 1:4

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

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

Ц:В = 1:2

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

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

$P_0 = 0,5 \cdot 10^5$ (Па);

Ц:В = 1:1

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

$P_0 = 3 \cdot 10^5 - 3,18 \cdot 10^5 = -0,18 \cdot 10^5$ Па, принимаем

$P_0 = 0,5 \cdot 10^5$ (Па);

Ц:В = 1:0,5

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

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

$P_0 = 0,5 \cdot 10^5$ (Па).

Таблица 5

Значения начального давления нагнетания на цементационном насосе по концентрациям

Концентрация растворов Ц:В	1:4	1:2	1:1	1:0,5
P_0, 10^5 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 I:200

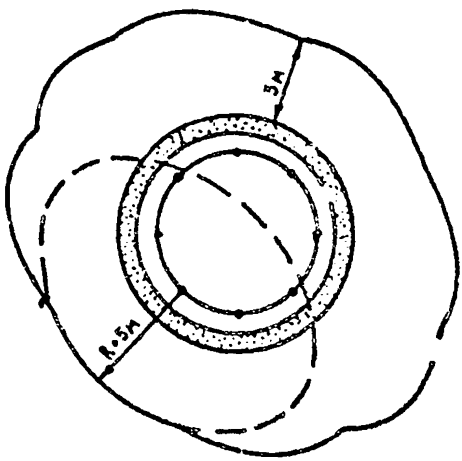


Рис.2. Определение размера меньшей полуоси эллипсовидной цементационной завесы вокруг скважины

По уравнениям (I8) и (I9) рассчитываем значения конечного перепада давления $\Delta P_к$ по концентрациям :

Ц:В = I:4

$$\Delta P_к = \frac{I,35\cdot I0^{-3}\cdot 4,5\ \sqrt{2,28\cdot I0^{-3}\cdot 5,43\cdot I0^{-3}\cdot 5}}{2,33\cdot I0^{-I2}} = 33,6\cdot I0^{5}\ (Па)\ ;$$

Ц:В = I:2

$$\Delta P_к = \frac{I,5I\cdot I0^{-3}\cdot 6\ \sqrt{2,28\cdot I0^{-3}}\ 5,43\cdot I0^{-3}\cdot 5}{2,33\cdot I0^{-I2}} = 50,4\cdot I0^{5}\ (Па);$$

Ц:В = I:I

$$\Delta P_к = \frac{I,77\cdot10^{-3}\cdot8,5\sqrt{2,26\cdot10^{-3}\cdot5,43\cdot10^{-3}\cdot5}}{2,33\cdot10^{-I2}} = 83,7\cdot10^5 \text{ (Па)};$$

Ц:В = I:0,5

$$\Delta P_к = \frac{7,5\cdot2,28\cdot10^{-3}\cdot5,43\cdot10^{-3}\cdot5}{2\cdot0,74\cdot2,33\cdot10^{-I2}} = I340\cdot10^5 \text{ (Па)},$$

В дальнейших расчетах применение раствора концентрации Ц:В = I:0,5 исключаем, т.к. для нагнетания этого раствора в данном случае требуется очень большое давление (I340·10^5 Па).

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

Ц:В = I:4

$$\Delta P'_к = \frac{(2,5\cdot0,59\cdot10^{-6}\cdot3,38\cdot10^6 + I)^{I/2,5} - I}{0,59\cdot10^{-6}} = I7\cdot10^5 \text{ (Па)};$$

Ц:В = I:2

$$\Delta P'_к = \frac{(2,5\cdot0,59\cdot10^{-6}\cdot5,04\cdot10^6 + I)^{I/2,5} - I}{0,59\cdot10^{-6}} = 22,8\cdot10^5 \text{ (Па)};$$

Ц:В = I:I

$$\Delta P'_к = \frac{(2,5\cdot0,59\cdot10^{-6}\cdot8,37\cdot10^6 + I)^{I/2,5} - I}{0,59\cdot10^{-6}} = 30,6\cdot10^5 \text{ (Па)}.$$

По уравнению (2I) определяем значения конечных давлений нагнетания на цементационном насосе для первой скважины по концентрациям:

Ц:В = I:4, $P_к = I7,7\cdot10^5 - 2,2\cdot10^5 \approx I6\cdot10^5$ (Па);

Ц:В = I:2, $P_к = 22,8\cdot10^5 - 2,5\cdot10^5 \approx 20\cdot10^5$ (Па);

Ц:В = I:I, $P_к = 30{,}8 \cdot 10^5 - 3{,}8 \cdot 10^5 \approx 27 \cdot 10^5$ (Па).

Таблица 6

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

Концентрация растворов Ц:В	I:4	I:2	I:I
$P_к$, 10^5 Па	I6	20	27

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

3.4. Определение ожидаемого расхода тампонажных материалов

По формулам (25) и (26) определяем размеры полуосей эллипсовидной цементационной завесы вокруг скважины с учетом коэффициента Ψ,

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

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

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:

$$R_{11} = r_{oc} + r_{11},$$

$$R_{22} = r_{oc} + r_{22},$$

где r_{oc} – радиус окружности, по которой расположены цементационные скважины.

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

$$R_{22} = 3,25 + I3 = I6,25 \text{ (м)}.$$

По уравнению (20) определяем площадь суммарной цементационной завесы

$$S = 3,I4 \cdot I3,25 \cdot I6,25 = 676, \quad (м^2).$$

М I:400

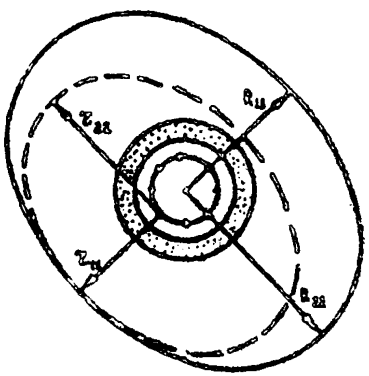


Рис.3. Определение размеров полуосей эллипса (R_{11} и R_{22}), описанного вокруг суммарной цементационной завесы

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

$$q_1 = \frac{5 \cdot I0^{-8}}{62 \cdot I,48 \cdot I0^5} = 5,45 \cdot I0^{-I0} \text{ (м}^2\text{/с·Па)},$$

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

$$\Delta P'_{к(ср)} = \frac{(I7,7+22,8+30,8) \cdot I0^5}{3} = 23,7 \cdot I0^5 \text{ (Па)}.$$

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.

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

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

I. 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 /Кузнишахтострой .

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

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

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 общей ред. проф., д-ра техн.наук Н.Г.Трупака. – М.: Недра, 1980, 391 с.

7. КОТЯХОВ Ф.И. Основы физики нефтяного пласта. – М.: Гостоптехиздат 1956.

8. [illegible]ЕВ Н.Т. Определение параметров трещиноватости горных пород при проектировании тампонажных завес. – "Шахтное строительство", 1982, № 11.

9. А.с. 1035229 (СССР). Способ цементации горных пород/ Кузнецкшахтострой; Авт.изобрет. В.А.Хямяляйнен, А.В.Угляница. Опубл. в Б.И., 1983 г., № 30.

10. КОТЯХОВ Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов. – М.: Недра, 1977.

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

12. ВАХРАМЕЕВ И.И. Теоретические основы тампонажа горных пород. – М.: Недра, 1968.

13. ХЯМЯЛЯЙНЕН В.А., ДУДА Е.Г., УГЛЯНИЦА А.В. Фильтрация цементных растворов в деформируемых трещиноватых породах. – ФТПРПИ, 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./ Кузнецшахтострой).

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 [I6].

Единицы давления:

$$I\ Па \approx 0{,}I02 \cdot I0^{-4}\ \frac{кгс}{см^2} \approx 0{,}I02 \cdot I0^{-4}\ атм \approx 0{,}I02 \cdot I0^{-5}\ МПа \approx$$

$$0{,}I02 \cdot I0^{-3}\ м\ вод.ст.$$

Единицы удельного веса:

$$I\ н/м^3 \approx 0{,}I02 \cdot I0^{-3}\ тс/м^3 \approx 0{,}I02\ I0^{-3}\ гс/см^3$$

Единицы проницаемости:

$$I\ м^2 = 9{,}8I \cdot I0^{II}\ дарси$$

Единицы динамической вязкости:

$$I\ Па \cdot с = I0\ Пз = I0^3\ сП = 0{,}I02\ \frac{кгс \cdot с}{м^2}$$

Единицы коэффициента увеличения раскрытия трещин:

$$I\ Па^{-I} = 9{,}8I \cdot I0^5\ МПа^{-I} = 9{,}8I \cdot I0^4\ \frac{см^2}{кгс}$$

Единицы удельного водопоглощения:

$$I\ м^2/с \cdot Па \approx 0{,}I67 \cdot I0^{-8}\ л/мин \cdot м \cdot м\ вод.ст.$$

Приложение 2

Физико-механические свойства цементационного раствора и воды

Таблица I

Значения $\mu_в$ в зависимости от температуры подземных вод

Температура подземной воды, град	4	6	8	I0	I2	I4	I6	I8
$\mu_в$, $I0^{-3}$ Па·с	I,57	I,47	I,39	I,3I	I,24	I,I7	I,I2	I,06

Таблица 2

Значения $\gamma_р$, $\mu_р$, α и K в зависимости от концентрации раствора

Состав раствора: цемент	вода	$\gamma_р$, $I0^4$ н/м^3	$\mu_р$ $I0^{-3}$ Па·с	α	K
I	4	I,I4	I,35	4,5	I,3
I	2	I,27	I,5I	6,0	I,4
I	I	I,5I	I,77	8,5	I,5
I	0,5	I,82	-	-	I,6

Приложение 3

Определение коэффициента трещинной анизотропии горных пород

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

Для построения плана гидроизогипс 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.

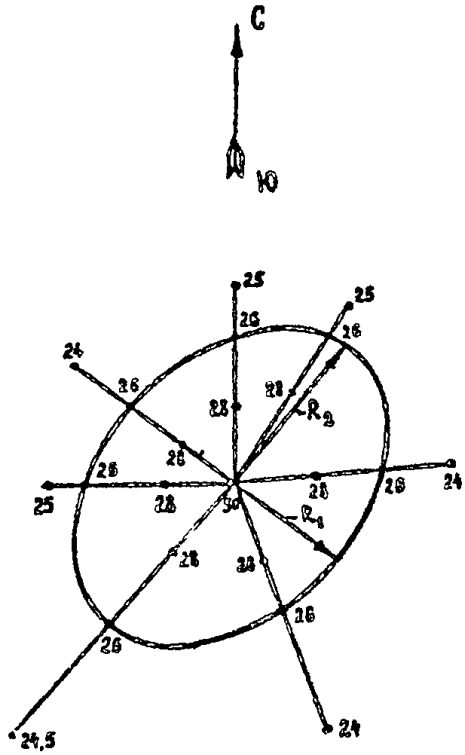
Такие исследования производят геолого-разведочные организации в процессе гидрогеологической разведки горного массива под сооружаемую выработку. Результаты этих исследований приводят в гидрогеологическом заключении.

Поэтому для построения плана гидроизогипс 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 гидроизогипсы.

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

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{k_o^{II}}{k_o^{22}}} = \frac{R_1}{R_2}, \qquad (31)$$

где $\frac{R_1}{R_2}$ – соотношение полуосей эллипсов образуемых гидроизогипсами.



Построение плана гидроизогипс

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Принятые обозначения 3

В в е д е н и е 7

1. Определение давления нагнетания цементационных растворов 8
2. Определение расхода тампонажных материалов . . 15
3. Пример расчета 17

Список использованной литературы 31

П р и л о ж е н и я 33

РЕКОМЕНДАЦИИ

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

Ответственный за выпуск Бурков Ю.В.

Корректор Гуслина-Клятковская 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 ротапринте Кузнецкшахтостроя.

Кемерово, ул. Институтская, 1

gost.e-ecolog.ru