

7770A  
✓  
622.249 К  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

---

На правах рукописи

Канд. техн. наук Кипко Эрнест Яковлевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ТАМПОНАЖ  
ОБВОДНЕННЫХ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ  
ПОРОД ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННЫЕ  
С ПОВЕРХНОСТИ, ПРИ СООРУЖЕНИИ  
КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Специальность 05. 15. 04 — Шахтное и подземное  
строительство

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

43  
Москва — 1973

622.249.7  
К 11  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

---

На правах рукописи

Канд. техн. наук Кипко Эрнест Яковлевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И ТАМПОНАЖ  
ОБВОДНЕННЫХ ТРЕЩИНАТЫХ ГОРНЫХ  
ПОРОД ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННЫЕ  
С ПОВЕРХНОСТИ, ПРИ СООРУЖЕНИИ  
КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Специальность 05.15.04—Шахтное и подземное  
строительство

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва — 1973

Работа выполнена в Донбассантрацитовском управлении шахтной геологии, разведочного и технического бурения Минуглепрома УССР

Научный консультант:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР,  
профессор, доктор техн. наук **Н. М. Покровский**

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР,  
Лауреат Государственной премии, профессор,  
доктор техн. наук **Н. Г. Трупаков**

профессор, доктор геолого-минералогических наук  
**С. В. Троянский**

профессор, доктор техн. наук  
**А. П. Максимов**

Ведущее предприятие—комбинат «Ворошиловградшахтострой»

Автореферат разослан «**27**» **ноября** 1972

Защита диссертации состоится «**3**» **января** 1974г.

в «**9**» часов

на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультета разработки угольных месторождений и подземного строительства Московского ордена Трудового Красного Знамени горного института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв в двух экземплярах просим направлять по адресу:  
117049, Москва, М-49, Ленинский проспект, 6, МГИ.

Ученый секретарь Совета МГИ  
проф. **М. М. ШЕМАХАНОВ**

## ВВЕДЕНИЕ

Величественной программой развития народного хозяйства СССР, намеченной XXIV съездом КПСС, предусматривается довести добычу угля в 1975 году до 685—695 млн. тонн. В следующей пятилетке рост добычи будет продолжаться такими же темпами. Все это потребует строительства большого количества новых и реконструкции действующих шахт. Достаточно сказать, что уже в настоящее время только в Донецком бассейне насчитывается около 40 строящихся и проектируемых шахт. К 1990 году комбинатами «Ворошиловградшахтострой» и «Донецкшахтострой» будет пройдено 132 шахтных ствола общей глубиной 112400 м. Ожидается, что примерно такое же количество стволов будет пройдено другими шахтостроительными организациями Минуглепрома Украины для реконструкции действующих шахт, в связи с освоением глубоких горизонтов.

Большинство глубоких и сверхглубоких стволов проходят в сложных горно-геологических условиях, что в значительной мере сдерживает темпы проходки и увеличивает стоимость их строительства. Например, при притоке воды до 20 м<sup>3</sup>/час в забой ствола глубиной 500 м стоимость проходки ствола увеличивается на 14,5% по сравнению с проходкой при притоке 5 м<sup>3</sup>/час, а с учетом дополнительных затрат в результате увеличения сроков строительства—до 33%. Нередки случаи, когда на борьбу с водопритоками при сооружении шахтных стволов уходят годы, а иногда стволы консервируются на неопределенное время.

Применяемая почти повсеместно предварительная цементация обводненных горных пород из забоя ствола резко снижает темпы проходки стволов и не всегда дает желаемые результаты. В последние годы в зарубежной практике при проходке шахтных стволов все более часто применяют предварительный темпонаж через скважины, пробуренные с поверхнос-

ти земли. К сожалению, в отечественном шахтостроении этот метод, несмотря на его очевидные преимущества перед цементацией из забоя ствола, используют крайне редко. Так, из пройденных в 1948—72 годах комбинатами «Донецкшахтострой» и «Ворошиловградшахтострой» 226 вертикальных стволов лишь на 14 применили предварительную цементацию через скважины, пробуренные с поверхности земли. При общей глубине стволов 105461,3 м только 4581 м пройден с предварительной цементацией с земной поверхности. Следует отметить невысокое качество выполненных работ. Из 14 стволов лишь на 5 не проводились работы по подавлению остаточных притоков в процессе проходки. (В это число не вошли стволы, на которых в 1969—72 годах Донбассантрацитовским управлением по разработанной в ходе выполнения настоящей диссертационной работы методике осуществлен предварительный тампонаж с поверхности земли).

Такое ограниченное промышленное применение наиболее прогрессивного метода тампонажа горных пород и относительно низкое качество объясняется отсутствием методики, позволяющей в процессе проектирования рассчитать все параметры формирования изоляционной завесы,—от ее размеров до количества тампонажных скважин и режимов нагнетания; отсутствием высокоэффективных и дешевых тампонажных растворов, а также слабым развитием технических средств и технологических схем для нагнетания этих растворов через скважины, пробуренные с поверхности земли; наконец, полным отсутствием методики, позволяющей объективно оценить качество выполненных тампонажных работ до начала проходки ствола.

Решению проблем, которые позволили бы в широких промышленных масштабах внедрить тампонаж трещиноватых горных пород с поверхности земли, и посвящена настоящая работа. Работа выполнялась с 1964 года в Донбассантрацитовском управлении шахтной геологии Министерства угольной промышленности УССР.

Борьба с поглощениями промывочной жидкости в разведочных скважинах и тампонаж обводненных горных пород через скважины, пробуренные с поверхности земли — два аспекта одной и той же проблемы. Поэтому первые основополагающие разработки были всесторонне апробированы и широко внедрены в производство при изоляции поглощающих горизонтов в разведочных и технических скважинах. На основе

накопленного опыта был разработан и внедрен в производство общий комплексный метод тампонажа водоносных горных пород.

По теме диссертационной работы АВТОР ЗАЩИЩАЕТ:

а. Ряд теоретических положений, связанных с течением вязко-пластичных тампонажных растворов в трещиноватых средах.

б. Методику расчета формирования водоизоляционных завес в трещиноватых обводненных горных породах.

в. Технические средства и методику получения информации о гидродинамических свойствах водоносных горизонтов.

г. Методику определения оптимального количества наклонно-направленных тампонажных скважин и рационального их расположения.

д. Разработанные составы высокоэффективных глиноцементных тампонажных растворов.

е. Технические средства и технологические схемы для формирования изоляционных завес через скважины, пробуренные с земной поверхности.

ж. Методику контроля качества выполненных тампонажных работ.

## Глава I

### Анализ применяемых в горном деле методов и средств тампонажа обводненных горных пород

Большое многообразие горно-геологических условий, в которых проходятся капитальные горные выработки или строятся гидротехнические сооружения, обуславливает рассмотрение проблемы тампонажа обводненных горных пород как одну из наиболее сложных проблем. В связи с этим, вопросами, связанными с ее решением, занимаются многие научно-исследовательские, проектные и учебные институты и производственные организации.

Достигнутые успехи в этой области отражены в трудах А. Н. Адамовича, И. И. Вахрамеева, Н. М. Покровского, Н. Г. Трупака, И. Д. Насонова, Е. П. Калмыкова, Б. И. Кравцова, М. Н. Крылова, П. П. Гальченко, Б. Д. Половова, Е. Л. Шишова и др.

Рассмотрение известных способов тампонажа обводненных горных пород позволяет заключить, что из всех активных способов наиболее перспективным является инъекционный. Завесы, образованные этим способом, предохраняют горную выработку длительное время от поступления в нее воды и допускают применение более дешевых крепей.

В I главе подробно рассмотрены известные в горном деле тампонажные растворы и способы воздействия на их структурно-механические и реологические свойства. Установлено, что наиболее часто употребляемый при тампонажных работах цементационный раствор имеет ряд существенных недостатков и в определенных горно-геологических условиях часто оказывается мало эффективным.

Несмотря на то, что из числа применяемых технологических способов тампонажа почти повсеместно применяют тампонаж из забоя ствола, более рациональным является образование водоизоляционных завес через скважины, пробуренные с поверхности земли. Однако и этот способ имеет существенные недостатки. В частности, отсутствие технических средств и методики получения объективной информации о водоносных горизонтах, вскрытых контрольными и тампонажными скважинами, не позволяет выполнить теоретически обоснованные расчеты и применить наиболее эффективные технологические схемы нагнетания тампонажных растворов. Применяемый при тампонаже в горном деле метод оценки фильтрационных свойств горных пород только по удельному водопоглощению позволяет лишь приблизительно оценить эти свойства. Общепринятая в горном деле технология бурения строго вертикальных тампонажных скважин, расположенных в 2—3 метрах от контура ствола, значительно снижает экономическую эффективность тампонажных работ, выполняемых с поверхности земли, так как увеличивает период подготовительных работ.

Рассмотрение существующих методов и технических средств тампонажа обводненных горных пород показало необходимость создания нового комплексного метода формирования водоизоляционных завес через скважины, пробуренные с поверхности земли. Этот метод должен включать в себя технические средства и методику получения объективной информации о водоносных горизонтах, на которой бы базировался расчет всего процесса формирования изоляционных завес, новые эффективные тампонажные растворы и, наконец, тампонажные работы, выполняемые через скважины, пробуренные с поверхности земли, не должны увеличивать период подготовительных работ.

Рассмотренный в главе I опыт выполнения изоляционных работ по борьбе с поглощениями промывочной жидкости при бурении разведочных скважин, показал целесообразность

разработки и применения вязко-пластичных глиноцементных тампонажных растворов для тампонажа обводненных горных пород при проходке шахтных стволов.

## Глава II

### Теоретические предпосылки к расчетам, связанным с изоляцией трещиноватых горных пород тампонажными растворами

В главе II аналитическому рассмотрению вопроса течения вязко-пластичных тампонажных растворов в трещинах горных пород предпослан анализ теоретических и экспериментальных исследований этого процесса, изложенных в трудах А. Н. Адамовича, И. И. Вахрамеева, М. П. Воларовича, А. М. Гуткина, Н. В. Тябина, Р. И. Шищенко, Б. И. Есьмана, А. Х. Мирзаджанзаде, Д. Ш. Давлетбаева, З. М. Шахмаева, Б. Д. Половова, В. В. Луговского, Т. С. Каранфилова, Камбефора, Маага, Хефели.

Для выполнения гидравлических расчетов течения вязко-пластичных систем в трещинах горных пород аналитическим путем получены зависимости, позволяющие определить обобщенный параметр Рейнольдса, которым характеризуется это течение:

$$Re^* = \frac{V_{co} h \gamma}{\eta g} \left( 1 - \frac{3}{2} \bar{x}_0 + \frac{1}{2} \bar{x}_0^3 \right), \quad (1)$$

$$Re^* = \frac{V_{co} h \gamma}{\eta g \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{\tau_0 h}{V_{co} \eta} \right)}, \quad (2)$$

где

$$\bar{x}_0 = \frac{h_0}{h}$$

$2h_0$  — размер ядра потока раствора, м;

$\gamma$  — удельный вес раствора, н/м<sup>3</sup>;

$2h$  — величина раскрытия трещины, м;

$V_{co}$  — среднеобъемная скорость, м/сек;

$\eta$  — структурная вязкость раствора,  $\frac{\text{н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$

$g$  — ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>;

$\tau_0$  — динамическое напряжение сдвига раствора, н/м<sup>2</sup>.

Практическая реализация уравнения (1) связана с определением величины  $x_0$  и, следовательно,  $h_0$ . Полученное уравнение для определения размеров ядра потока при плоско-параллельном течении вязко-пластичной жидкости в трещине имеет вид:

$$h_0 = 2 \sqrt{h^2 + \frac{2\eta h V_{co}}{\tau_0}} \cos \left[ \frac{2\pi - \arccos \frac{-h^3}{\sqrt{\left(h^2 + \frac{2\eta h V_{co}}{\tau_0}\right)^3}}}{3} \right] \quad (3)$$

Для определения перепадов давления  $\Delta P$  при плоско-радиальном течении вязко-пластичных тампонажных растворов в трещине получено уравнение вида:

$$\Delta P = \tau_0 \int_{R_c}^{R_k} \frac{dr}{h_0(r)}, \quad (4)$$

где  $R_k$  — радиус контура распространения раствора, м;  
 $R_c$  — радиус скважины, м;  
 $r$  — текущий радиус, м.

В этом уравнении функциональная зависимость изменения размеров ядра потока по радиусу распространения тампонажного раствора в трещине может быть определена путем замены среднеобъемной скорости  $V_{co}$  в уравнении (3) ее значением на радиусе  $r$ , равным  $\frac{Q}{4\pi r h}$ ,

тогда

$$\Delta P = \tau_0 \int_{R_c}^{R_k} \frac{dr}{2 \sqrt{h^2 + \frac{Q\eta}{2\pi r \tau_0}} \cos \left[ \frac{2\pi - \arccos \frac{h^3}{\sqrt{\left(h^2 + \frac{Q\eta}{2\pi r \tau_0}\right)^3}}}{3} \right]} \quad (5)$$

где  $Q$  — расход тампонажного раствора.

Интеграл в уравнениях (4) и (5) находят по методу Симпсона.

Анализ уравнений (4) и (5) показывает, что при радиусе распространения раствора  $R_k \rightarrow \infty$ ,  $h_0 \rightarrow h$ , поэтому:

$$\Delta P = \lim_{R_k \rightarrow \infty} \tau_0 \int_{R_c}^{R_k} \frac{1}{h_0(r)} dr = \tau_0 \int_{R_c}^{R_k} \lim_{R_k \rightarrow \infty} \frac{1}{h_0(r)} dr = \frac{\tau_0 (R_k - R_c)}{h} \quad (6)$$

Для реальных вязко-пластичных жидкостей с высокими структурно-механическими свойствами, при небольших расходах нагнетания раствора, размеры ядра потока уже на пути в несколько метров практически достигают стенки трещины. В таком случае для практических расчетов перепадов давления, возникающих при течении тампонажных растворов в трещинах, можно применять приближенное уравнение:

$$\Delta P = \frac{\tau_0 (R_k - R_c)}{h} \quad (7)$$

Уравнение (7) выражает зависимость перепадов давления от пластических свойств тампонажного раствора. Погрешность определения перепада давлений зависит от соотношения пластических и вязких напряжений при течении конкретного раствора в трещинах горных пород.

В том случае, когда вязкими напряжениями раствора пренебрегать нельзя, их влияние можно учесть коэффициентом  $K$ . Тогда уравнение (7) будет иметь вид:

$$\Delta P = \frac{K \tau_0 (R_k - R_c)}{h} \quad (8)$$

Аналитическое выражение коэффициента  $K$  может быть получено путем совместного решения уравнений (8) и (4).

Для практических расчетов необходимо знать радиус распространения тампонажного раствора от скважины, значение которого может быть получено из уравнения (6), если пренебречь величиной  $R_c$  и решить его относительно  $R_k$ . Тогда:

$$R_k = \frac{\Delta P h}{\tau_0}, \quad (9)$$

а с учетом вязких напряжений:

$$R_k = \frac{\Delta P h}{K \tau_0} \quad (10)$$

Полученные аналитические зависимости позволили разработать принцип расчета геометрических размеров и параметров формирования водоизоляционной завесы в водоносном горизонте.

Форма и размеры водоизоляционной завесы, образуемой вокруг ствола шахты, определяются параметрами трещиноватости водоносного горизонта, перепадом гидродинамического давления в системе «ствол—горизонт» и структурно-механическими свойствами тампонажного раствора.

В общем виде радиус  $R$  надежной водоизоляционной завесы определяется из условия устойчивости вязко-пластичной системы в трещине

$$R = \frac{\alpha \delta \Delta P}{2P_m}, \quad (11)$$

где  $\delta$  — раскрытие трещины,  $m$ ;

$\Delta P$  — перепад давления на водоизоляционную завесу,  $n/m^2$ ;

$P_m$  — пластическая прочность тампонажного раствора,  $n/m^2$ ;

$\alpha$  — коэффициент запаса прочности водоизоляционной завесы.

Радиус  $R$  в разных направлениях различен в зависимости от анизотропии горных пород. В приведенном ниже методе расчета за основу принято наличие двух систем трещин, формирующих водоносный горизонт, что часто наблюдается в каменноугольных отложениях антрацитовых районов Донбасса. При расчетах параметров трещиноватости использованы известные уравнения Ф. И. Котяхова, И. И. Вахрамеева и Е. С. Ромма.

Принцип расчета параметров формирования водоизоляционной завесы в водоносном горизонте

Этап расчета	Расчетные формулы
I. Параметры трещиноватости водоносного горизонта 1. Сквжность (трещинная пустотность) $m_t$	$m_t = \frac{1}{577,9} \sqrt[3]{\frac{K' \mu \text{big} R_k / R_c}{M}} \quad (12)$

Этап расчета	Расчетные формулы
2. Проницаемость основных систем трещин — $K_{11}$ и $K_{22}$	$K_{np} = \sqrt{K_{11} \cdot K_{22}} = \frac{Q \mu \ln R_k / R_c}{2\pi M \Delta P} \quad (13)$
	$\epsilon = \sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}} \quad (14)$
3. Раскрытие трещин в каждой из систем — $\delta_{11}$ ; $\delta_{22}$	$\delta_{11} = 4,83 \sqrt{\frac{K_{11}}{m_t^{2,1}}}; \quad \delta_{22} = 4,83 \sqrt{\frac{K_{22}}{m_t^{2,1}}} \quad (15)$

### II. Размеры водоизоляционной завесы

1. Необходимые радиусы водоизоляционной завесы по направлениям систем трещин —  $R_1$  и  $R_2$

$$R_1 = \frac{\alpha \delta_{11} P_k}{2P_m}; \quad R_2 = \frac{\alpha \delta_{22} P_k}{2P_m} \quad (16)$$

2. Объем тампонажного раствора для формирования водоизоляционной завесы —  $V$

$$V = \pi R_1 R_2 M m_t \quad (17)$$

### III. Размеры контуров распространения тампонажного раствора в водоносном горизонте из одиночной скважины

1. Потери давления, возникающие при течении тампонажного раствора в трещинах водоносного горизонта, соответствующие предельному контуру распространения раствора —  $\Delta P_{пл}$

$$\Delta P_{пл} = P_n - \Delta P_m - \Delta P_t - P_k + P_r \quad (18)$$

2. Размеры контуров распространения раствора —  $r_1$  и  $r_2$

а. без учета вязких напряжений

$$r_1 = \frac{\delta_{11} \Delta P_{пл}}{2\tau_0}; \quad r_2 = \frac{\delta_{22} \Delta P_{пл}}{2\tau_0} \quad (19)$$

б. с учетом вязких напряжений

$$r_1 = \frac{\delta_{11} \Delta P_{пл}}{2K\tau_0}; \quad r_2 = \frac{\delta_{22} \Delta P_{пл}}{2K\tau_0} \quad (20)$$

где  $K'$  — удельная приемистость водоносного горизонта,  
 $\frac{м^3}{сутки \cdot ат}$

$\mu$  — динамическая вязкость,  $\frac{н \cdot сек}{м^2}$ ; в уравнении  
(12) — *снз*;

$b$  — объемный коэффициент;

$R_k$ ;  $R_c$  — радиус влияния и радиус скважины,  $м$ ;

$M$  — мощность проницаемого горизонта,  $м$ ;

$K_{пр}$  — коэффициент проницаемости,  $м^2$ ;

$K_{11}$ ;  $K_{22}$  — проницаемость систем трещин,  $м^2$ ;

$Q$  — расход жидкости,  $м^3/сек$ ;

$\epsilon$  — коэффициент трещинной анизотропии;

$P_m$  — пластическая прочность тампонажного раствора,  $н/м^2$ ;

$\alpha$  — коэффициент запаса прочности;

$P_n$  — давление, развиваемое насосом,  $н/м^2$ ;

$\Delta P_m$  — потери давления в манифольдной линии,  $н/м^2$ ;

$\Delta P_t$  — потери давления в колонне тампонажных труб,  $н/м^2$ ;

$P_k$  — давление на контуре распространения тампонажного раствора (пластовое давление),  $н/м^2$ ;

$P_r$  — гидростатическое давление столба тампонажного раствора в трубах,  $н/м^2$ ;

$K$  — коэффициент, учитывающий вязкие напряжения.

Разработанный принцип расчета параметров формирования водоизоляционной завесы вызвал необходимость разработки методики получения исходных данных, необходимых для расчета параметров трещиноватости, а также установления лабораторным путем структурно-механических и реологических свойств применяемых тампонажных растворов.

### Г л а в а III.

#### Разработка тампонажных растворов и исследование их структурно-механических и реологических свойств

При разработке вязко-пластичных тампонажных растворов были приняты два критерия качества: с одной стороны, получение максимально высоких структурно-механических свойств  $\mu$ , с другой, — удовлетворительная прокачиваемость раствора поршневым насосом.

Лабораторными исследованиями изучено влияние различных реагентов структурообразователей и наполнителей на

структурно-механические свойства глинистых растворов. Первоначально исследовали влияние цемента на свойства глинистых растворов. Затем изучили влияние на глинистый раствор, с различным содержанием цемента, наполнителей: кожи-гороха, древесных опилок, подсолнечной лузги и резиновой крошки. Проведенные исследования позволили выбрать оптимальный состав тампонажного раствора, включающего в себя глинистый раствор удельного веса  $\gamma = 1,20 \text{ Г/см}^3$  с добавками 50 Г цемента и 50 Г древесных опилок на 1 литр тампонажного раствора. Однако уже первые опыты нагнетания в больших объемах таких растворов привели к затруднениям из-за дефицита требуемого значительного количества древесных опилок.

Дальнейшие исследования проводили в направлении разработки путей воздействия на структурно-механические свойства глиноцементных тампонажных растворов без наполнителей. Исследованиями установлен характер влияния на статическое напряжение сдвига ( $\Theta$ ) и пластическую прочность структуры ( $P_m$ ) глиноцементных тампонажных растворов следующих реагентов: сульфитспиртовой барды (ССБ), карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), углещелочного реагента (УЩР), тринатрийфосфата, хлористого кальция и силиката натрия (жидкого стекла). Было установлено, что введение в тампонажный раствор ССБ, КМЦ, УЩР, тринатрийфосфата и хлористого кальция снижает прочность структуры в начальный период стабилизации и поэтому улучшает прокачиваемость раствора. Однако, одновременно с этим уменьшается конечная прочность структуры, вследствие чего применение реагентов для обработки тампонажных растворов на глинистой основе неприемлемо.

Использование в качестве дополнительного реагента-структурообразователя — жидкого стекла с модулем свыше 3,0 — уже при концентрации 2 Г/л повышает пластическую прочность структуры и статическое напряжение сдвига тампонажного раствора в 2,5 раза. При концентрации жидкого стекла в пределах 5—10 Г/л прочность тампонажного раствора увеличивается в 3—4 раза.

В результате выполненных лабораторных исследований создан новый вязко-пластичный глиноцементный тампонажный раствор следующего состава:

глинистый раствор удельного веса  $1,20 \text{ Г/см}^3$ ;

цемент 100 кг на  $1 \text{ м}^3$  тампонажного раствора;

жидкое стекло 10 кг на  $1 \text{ м}^3$  тампонажного раствора.



Последующими лабораторными исследованиями установлена закономерность влияния содержания твердой фазы в исходном глинистом растворе на начальную и конечную пластическую прочность ( $P_m$ ) тампонажного раствора. Полученная на этой основе гамма тампонажных растворов позволяет в значительных пределах варьировать при выполнении тампонажных работ в производственных условиях.

Исследования закономерности изменения структурно-механических свойств тампонажных растворов во времени показали, что их пластическая прочность, резко возрастая в течение первых 2—4 часов после нагнетания, продолжает расти в течение 10—12 суток; по истечении этого срока раствор полностью стабилизируется. Полученные значения роста пластической прочности по времени стабилизации приведены в табл. I.

Т а б л и ц а 1

Прочностные и реологические характеристики тампонажных растворов

№ п. п.	Состав тампонажного раствора	Пластическая прочность $P_m$ Г/см <sup>2</sup>				Структурная вязкость $\tau_s$ н.сек. М <sup>2</sup>	Динамич. напр-яж. сдвига $\tau_{0p}$ н/м <sup>2</sup>
		время стабилизации					
		1 мин.	30 мин.	4 часа	12 суток		
1.	Глинистый раствор $\gamma=1,18$ Г/см <sup>3</sup> , цемент 100 Г/л, жидкое стекло 10 Г/л	4,70	10,2	116	1660	0,024	66
2.	Глинистый раствор $\gamma=1,20$ Г/см <sup>3</sup> , цемент 100 Г/л, жидкое стекло 10 Г/л	4,76	11,4	132	2150	0,342	140
3.	Глинистый раствор $\gamma=1,23$ Г/см <sup>3</sup> , цемент 100 Г/л, жидкое стекло 10 Г/л	8,41	14,6	262	2600	0,051	192

Лабораторными исследованиями установлено, что время перемешивания раствора существенно влияет как на интенсивность процесса структурообразования, так и на конечную прочность структуры: перемешивание тампонажного раствора до 30 минут приводит к увеличению интенсивности структурообразования; после дальнейшего перемешивания резко сни-

жаются интенсивность структурообразования и конечная прочность раствора.

С целью выбора методики исследования реологических свойств тампонажных растворов рассмотрен процесс течения вязко-пластичной жидкости в зазоре коаксиальных цилиндров и установлены связанные с таким течением закономерности. С учетом их сконструирована специальная вискозиметрическая установка ротационного типа, позволяющая в широком диапазоне изменять скорости деформации испытуемой среды, разработана методика исследований и обработки полученных результатов. В основу установки положена рабочая часть известного ротационного вискозиметра РВ-8 системы М. П. Воларовича. Для измерения моментов сопротивления при вращении измерительного полусфероцилиндра в исследуемой среде применен индукционный метод с использованием упругого электрического вала на базе бесконтактной сельсинной пары, разработанный А. С. Терещенко и С. И. Ремпшелем.

Выполненными исследованиями глиноцементных тампонажных растворов установлено, что при измерениях вязкости в зазоре между коаксиальными цилиндрами трудно определить, распространился ли сдвиг (градиентный слой) по всему зазору или зона разрушения структуры локализовалась на узком участке, прилегающем к измерительной поверхности. Проведенными исследованиями установлено, что градиентный слой имеет распространение, не превышающее 2 мм. Это обусловило необходимость выполнения измерений при зазоре между коаксиальными цилиндрами равном 1,6 мм.

Результаты исследований глиноцементных тампонажных растворов представлены графиками зависимостей эффективной вязкости от градиента скорости  $\eta' = f(D)$  и полными реологическими кривыми в координатах «градиент. скорости — напряжение сдвига»  $D - \tau$ . Полученные реологические характеристики тампонажных растворов приведены в табл. 1.

Анализ проведенных исследований позволил установить, что разработанные тампонажные растворы являются вязкопластичными системами, соответствующими телу Шведова.

Полученные прочностные и реологические характеристики тампонажных растворов являются основой для практических расчетов процесса формирования изоляционных завес.

### Экспериментальные исследования процесса течения глиноцементных тампонажных растворов в трещинах

Разработка метода гидравлического расчета процесса формирования водоизоляционной завесы в трещиноватых горных породах требует как четкого представления о физических процессах, происходящих при нагнетании тампонажного раствора в трещину, так и установления основных закономерностей распространения раствора в трещине. С этой целью был использован метод физического моделирования, позволивший исследовать режимы течения и проверить правильность аналитических выражений, предложенных для расчетов параметров формирования водоизоляционной завесы.

Физической моделью явился специально сконструированный стенд, имитирующий систему «скважина — трещина». При конструировании стенда в основу была положена принципиальная схема, разработанная институтом КузНИИШахтострой. Радиальная модель трещины с переменным раскрытием представляет собой сектор длиной 2,75 м, с углом при вершине 18°. Стенд оборудован регистрирующей аппаратурой для фиксации объема и гидродинамических давлений по радиусу распространения тампонажного раствора. Гидравлический привод позволял регулировать расход нагнетания раствора в пределах  $Q=0-1,2$  л/сек.

Согласно разработанной методике, экспериментальные исследования на модели искусственной трещины проведены в два этапа, с последующей обработкой экспериментальных данных методом математической статистики.

На первом этапе при нагнетании воды изучена проницаемость трещин, являющихся их гидродинамической характеристикой. С этой целью установлены зависимости градиента напора от скорости течения  $I=f(V)$  и коэффициента гидравлических сопротивлений от числа Рейнольдса  $f=f(Re)$ . Установленные зависимости позволили определить влияние величины раскрытия трещин на их проницаемость.

На втором этапе осуществляли нагнетание тампонажных растворов в трещины с различной величиной раскрытия.

В результате выполненных исследований получена зависимость коэффициента гидравлических сопротивлений от обобщенного параметра Рейнольдса  $f=f(Re^*)$ , соответствующая

области структурного режима течения тампонажных растворов в трещинах. Анализ этой зависимости показывает, что при использовании серийно выпускаемого тампонажного оборудования течение глиноцементных растворов в трещинах горных пород соответствует структурному режиму.

Экспериментальная проверка рекомендованных уравнений для расчета процесса нагнетания тампонажных растворов в трещиноватую среду заключалась в сравнении расчетных и фактических данных, определенных на стенде для условий, идентичных расчетным.

Сравнение величин перепадов давления, полученных экспериментальным путем и рассчитанных по известному уравнению Н. В. Тябина и по уравнениям (5) и (7), позволяет сделать вывод, что уравнение Тябина дает завышенные значения и тем больше, чем больше величина раскрытия трещин.

Полученные данные позволили определить коэффициент  $K$ , учитывающий соотношение вязких и пластичных напряжений в уравнении (8).

Анализ экспериментальных данных показывает хорошее соответствие между фактическими перепадами давления и перепадами, рассчитанными по уравнению (5), что доказывает правильность теоретических выводов и позволяет рекомендовать это уравнение для более точных практических расчетов. Одновременно результаты экспериментальных исследований показали, что коэффициент  $K$  прямо пропорционален расходу жидкости и обратно пропорционален величине раскрытия трещин. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что с учетом производительности применяемых тампонажных насосов и встречаемых на практике суммарных раскрытий трещин в водоносном горизонте, вязкими напряжениями в большинстве случаев можно пренебречь. Это положение подтверждается и хорошей сходимостью фактических и рассчитанных по уравнению (7) перепадов давлений в области течения тампонажных растворов, имеющей место на практике.

Полученные выводы позволяют рекомендовать для прикладных расчетов формирования водоизоляционной завесы уравнения (7) и (9), и лишь в отдельных случаях — уравнения (8) и (10).

## Разработка технических средств и методики исследования водоносных горизонтов

Предложенный принцип расчета формирования водоизоляционных завес не может быть реализован без наличия объективной информации о количестве и фильтрационных свойствах водоносных горизонтов, подлежащих тампонажу. С целью получения такой информации сконструированы приборы и разработана методика ее получения и обработки.

На базе аналитического изучения закономерностей работы расходомерических приборов сконструирован скважинный расходомер ДАУ-3М, отличающийся от приборов подобного типа тем, что он определяет не только качественные, но и количественные характеристики водоносных горизонтов, имеет малый диаметр и способен стабильно работать в любых жидкостях, заполняющих скважину. Расходомер ДАУ-3М является тахометрическим прибором, принцип действия которого заключается в дискретных замерах скорости движения потока жидкости по стволу скважины.

Отличительными конструктивными особенностями расходомера ДАУ-3М являются применение в качестве тахометрического преобразователя индуктивного дифференциального датчика и защита опор крыльчатки воздушными колпаками от соприкосновения с жидкостью, в которой проводят исследования. Использование индуктивного дифференциального датчика позволяет полностью освободиться от реакции тахометрического преобразователя и использовать прибор для измерений в глинистых растворах. Этому способствуют и защитные воздушные колпаки. Прибор сконструирован и выпускается в двух модификациях типа ДАУ-3М-73 диаметром 73 мм и типа ДАУ-3М-89 — диаметром 89 мм.

Для исследования закономерности работы прибора в зависимости от диаметра скважины и свойств жидкости, заполняющей ее, был сконструирован специальный стенд. Стенд позволял с помощью специального насоса через сменные трубы с установленным внутри расходомером прокачивать жидкость с известными параметрами и одновременно фиксировать число оборотов крыльчатки  $n$  и соответствующий ему расход  $Q$ . Система вентиля дает возможность регулировать расход жидкости через трубу в пределах от 0 до 15 л/сек, а специальное устройство — поддерживать температуру прокачиваемой жидкости постоянной — около  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Исследования выполнены в водной среде и в среде глинистого раствора с различной вязкостью. В результате исследований были получены зависимости между  $n$  и  $Q$  при движении воды и глинистого раствора потоками различных по площади поперечных сечений. Установлено, что отношение  $\frac{n}{Q}$  при работе датчика расходомера в воде можно практически считать постоянным. Для глинистых растворов характер функции  $n=f(Q)$  является более сложным, но значительных отклонений от линейной зависимости нет.

Для использования установленных зависимостей между  $n$  и  $Q$  при определении расхода движущейся жидкости в скважинах любого диаметра были определены значения поправочного коэффициента  $K_d$  на несоответствие диаметра потока  $d$  диаметру расходомера и построены графики  $K_d=f(d)$ .

Общий характер зависимости  $K_d=f(d)$  как для воды, так и для глинистого раствора сохраняется.

Исследованиями установлено, что порог чувствительности расходомера, то есть расход жидкости, при котором крыльчатка начинает устойчиво вращаться, зависит от диаметра скважины и вида промывочной жидкости. Полученные и представленные в графическом виде абсолютные значения порога чувствительности в зависимости от указанных параметров позволяют определять область применения расходомера.

Необходимым условием проведения расходомерических исследований в скважине является движение жидкости по ее стволу. Разработанная методика исследований водоносных горизонтов в контрольно-технических и тампонажных скважинах заключается в следующем. Первоначально в скважине проводят кавернометрические измерения, затем через специальный герметизатор в нее на каротажном кабеле опускают расходомер, устье скважины герметизируют, а поршневым насосом создают избыточное в 2—5 кг/см<sup>2</sup> давление, которое нарушает статическое равновесие в системе «скважина — водоносные горизонты». Последние начинают интенсивно принимать жидкость, в это время выявляют и исследуют каждый из водоносных горизонтов. Расходомерические исследования производят не менее, чем при 2-х расходах нагнетания.

Результаты исследования обрабатывают с помощью полученных зависимостей  $Q=f(n)$  и  $K_d=f(d)$  и представляют в виде расходограмм. Расшифровка расходограмм позволяет определить глубину и мощность каждого водоносного гори-

зонта, а также расход жидкости  $Q$  в каждом горизонте, соответствующий давлению нагнетания  $P$ .

Графическим способом по данным расходомерии определяют гидростатический напор каждого горизонта.

В главе V приведено подробное описание методики интерпретации расходометрических кривых и определения наиболее существенной погрешности измерений. При ламинарном движении жидкости возникает погрешность, вызываемая эксцентричным расположением расходомера по отношению к оси скважины.

Для определения максимального значения погрешности —  $\delta_{\max}$  аналитическим путем получена зависимость

$$\delta_{\max} = \frac{2(D-d)^2}{2D^2 - d^2}, \quad (21)$$

где  $D$  — диаметр скважины,  $m$ ;  
 $d$  — диаметр расходомера,  $m$ .

В главе V приведены суммарные погрешности замеров, соответствующие наиболее часто встречающимся случаям расходометрических исследований.

С целью максимального использования геологической информации детально разработана методика сбора и обработки информации о параметрах трещиноватости горных пород района, в котором проектируется сооружение капитальных выработок. Эта методика заключается в замерах элементов трещиноватости горных пород в горных выработках, разведочных и технических скважинах, по обнажениям на земной поверхности и в карьерах, с максимально возможным количеством точек наблюдения. Результаты замеров должны характеризовать определенный район, участок или блок, не только по площади, но и по мощности толщи горных пород. Обобщенные, статистически обработанные и систематизированные результаты наблюдений представляют в виде круговой диаграммы распределения трещин по азимутам и углам падения, а также диаграммы направлений основных систем трещин.

Направление течения подземных вод, как правило, совпадает с направлением основной системы трещин. Этот фактор может быть использован для определения азимута простирания основной системы трещиноватости.

Сконструированный прибор ДАУ-6 для замера направления потока подземных вод в водоносном горизонте, вскрытом скважиной, основан на принципе замера угла между флюгером, на который воздействует подземный поток, и магнитной

стрелкой, определяющей положение прибора в скважине относительно магнитного меридиана. Методика определения сводится к трехкратным замерам в скважине на уровне выявленных расходометрией водоносных горизонтов. Значение азимута простирания основной системы трещин определяют как среднее арифметическое этих замеров.

Для определения коэффициента трещинной анизотропии  $\epsilon$  предложен метод, заключающийся в нижеследующем. После окончания бурения тампонажных скважин, в одной из них, расположенной в центре, искусственно нарушают статическое равновесие в системе «скважина — водоносные горизонты». Такое нарушение достигают либо откачкой, либо нагнетанием воды в скважину. Одновременно в остальных скважинах производят замеры статических уровней подземной воды методом расходомерии. По результатам замеров определяют изменения статических уровней вскрытых водоносных горизонтов, обусловленные воздействием возмущающей скважины в центре площади наблюдений. По полученным данным отстраивают планы гидроизогипс водоносных горизонтов. Отношение расстояний между центром возмущающей скважины и точками, расположенными на одноименной изогипсе, соответствует соотношению проницаемостей в этих направлениях. Нанесенные на план направления основных систем трещин позволяют рассчитать соотношение проницаемости между этими системами.

Если тампонажные скважины пробурены вокруг ствола для подавления остаточных водопритоков, последний может заменить возмущающую скважину.

## Глава VI

### Разработка методов проектирования, средств, технологий и контроля качества тампонажных работ

Разработка тампонажных растворов, определение их структурно-механических и реологических характеристик, экспериментальная проверка аналитических зависимостей, разработка технических средств и методов получения информации о фильтрационных свойствах водоносных горизонтов позволили использовать разработанный принцип расчета параметров формирования водоизоляционных завес при их проектировании.

При расчете параметров трещиноватости горных пород исходными данными для уравнений (12) и (13) являются ре-

зультаты расходометрических исследований, а значение  $\varepsilon$  в уравнении (14) определяют по методике, описанной выше. Проницаемость по направлениям основных систем трещиноватости определяют совместным решением уравнений (13) и (14).

В связи с тем, что устойчивость водоизоляционной завесы обратно пропорциональна максимальному раскрытию трещин, при определении размеров завесы в выражении (16) принимают не расчетное значение раскрытия трещин в основной системе, а максимальное, которое когда-либо наблюдалось в горных выработках или скважинах —  $\delta_{\max}$ . Коэффициент запаса прочности на основании опыта принимают  $\alpha=3$ .

Пластическую прочность тампонажного раствора выбирают на основании результатов лабораторных исследований  $P_m$  с применением коэффициента  $n$ , учитывающего возможные отклонения  $P_{m\min}$

$$n = \frac{P_m}{P_{m\min}} \quad (22)$$

Коэффициент  $n$  получен экспериментальным путем. В выражении (16) принимают допустимую пластическую прочность

$$[P_m] = \frac{1}{n} P_m \quad (23)$$

Учитывая все сказанное, размер водоизоляционной завесы по направлению основной системы трещин для практических расчетов определяют по уравнению:

$$R_2 = \frac{3 \delta_{\max} P_k}{2 [P_m]} \quad (24)$$

где  $P_k$  — напор водоносного горизонта,  $n/m^2$ .

Величины завесы по подчиненной системе трещин определяют с учетом коэффициента трещинной анизотропии:

$$R_1 = \varepsilon R_2 \quad (25)$$

Водоизоляционная завеса в водоносном горизонте имеет форму эллиптического цилиндра с полуосями  $R_1$  и  $R_2$  и высотой, равной мощности водоносного горизонта  $M$ .

Размеры контуров распространения тампонажного раствора в водоносном горизонте из одиночных скважин рассчитывают по упрощенному уравнению (19), без учета вязких напряжений; правота такого расчета доказана эксперименталь-

ными исследованиями. Размеры контура распространения раствора определяют, исходя из возможностей тампонажного насоса, для чего потери давления  $\Delta P_{пл}$ , возникающие при течении тампонажного раствора и соответствующие предельному контуру распространения  $r$ , определяют по уравнению (18). Величина динамического напряжения сдвига  $\tau_0$  тампонажного раствора определена лабораторными исследованиями.

Разработанный графический метод определения рационального количества точек нагнетания раствора заключается в нижеследующем. Рассчитанную водоизоляционную завесу наносят на план. На нее накладывают рассчитанные, исходя из возможностей тампонажного оборудования, максимальные эллиптические контуры распространения тампонажного раствора из одиночной скважины. Количество контуров, необходимое для покрытия всей площади завесы, соответствует оптимальному количеству точек нагнетания, а центры контуров соответствуют рациональному расположению этих точек.

Полученные таким способом рациональные точки нагнетания для каждого водоносного горизонта, спроектированные на земную поверхность и сгруппированные, служат основой для выбора оптимального количества тампонажных скважин.

Нами предложено производить тампонаж обводненных горных пород через наклонно-направленные скважины, а не через строго вертикальные, как было принято до сих пор. Применение наклонно-направленных скважин позволяет повысить качество тампонажных работ при одновременном значительном увеличении экономической эффективности сооружения всего ствола в целом.

Этот вывод базируется на следующем. При крутых углах падения трещин основных систем, которые имеют место в Донецком бассейне, с увеличением угла наклона, скважины подсекают большее количество крутопадающих трещин. С этой точки зрения наиболее целесообразно бурить наклонно-направленные скважины с учетом их естественного искривления, и с применением при необходимости специальных технических средств, позволяющих добиться запроецированного профиля тампонажной скважины. Наклонно-направленные скважины имеют большее преимущество перед вертикальными еще и потому, что их устья, будучи отнесены на значительные расстояния от шахтного ствола, позволяют совместить тампонажные работы с подготовительным периодом. Это обстоя-

тельство значительно сокращает общие сроки строительства ствола, а иногда и шахты в целом.

Таким образом, выбор оптимального количества тампонажных скважин и рациональных мест их заложения осуществляют с учетом полученных групп точек нагнетания, размещения систем трещин и естественного искривления скважин, характерного для данного района. Проектный профиль наклонно-направленной скважины рассчитывают по известному в бурении методу.

Объем тампонажного раствора, необходимый для формирования водоизоляционной завесы, определяют по сумме объемов раствора, нагнетаемых из одиночных тампонажных скважин.

Объем нагнетания раствора в отдельную скважину  $V_k$  определяют по уравнению:

$$V_k = \pi \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot M \cdot m_T, \quad (26)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  — полуоси эллиптического контура распространения тампонажного раствора,  $m$ ;

$M$  — мощность водоносного горизонта,  $m$ .

Общий объем тампонажного раствора для формирования завесы:

$$V_i = \sum_{k=1}^n V_k \quad (27)$$

Необходимый объем тампонажного раствора для формирования завес во всех водоносных горизонтах:

$$V_{об} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (28)$$

Описанные расчеты выполняют по материалам, полученным при исследованиях в контрольно-технической скважине, а также собранным в районе проектируемых работ.

По окончании бурения тампонажных скважин и выполнения в них требуемого комплекса исследований, расчеты размеров контуров распространения тампонажного раствора и его объемы корректируют.

Реализация разработанного метода проектирования тампонажных работ возможна только при нагнетании тампонажного раствора в строго определенный водоносный горизонт, на любых режимах. Анализ применяемых технических средств показал, что для тампонажных скважин приспособ-

ления, которые позволили бы осуществлять такие нагнетания, практически отсутствуют.

В главе VI приведены конструкции и принцип действия разработанных пакерующих устройств ДАУ-1, ДАУ-1-2 и ДАУ-2. Пакерующее устройство ДАУ-1 позволяет герметизировать ствол скважины диаметром 76 мм и более в любой точке и осуществлять нагнетание раствора при давлении до 500 кг/см<sup>2</sup>.

Двойной механический пакер ДАУ-1-2 позволяет герметизировать ствол скважины диаметром 76 мм и более в двух точках на расстоянии до 5 м одна от другой и осуществлять нагнетание раствора в пространство между точками пакерования при давлении до 500 кг/см<sup>2</sup>.

Гидромеханическая пробка ДАУ-2 предназначена для перекрытия ствола скважины диаметром 92 мм и более ниже изолируемого водоносного горизонта с последующим отсоединением колонны бурильных труб.

Технология формирования водоизоляционных завес через скважины, пробуренные с поверхности земли, заключается в приготовлении тампонажного раствора и его нагнетании в водоносный горизонт.

Приготовление больших объемов тампонажных глиноцементных растворов осуществляют в два этапа. На первом этапе готовят глинистый раствор на специально разработанном, полностью механизированном глинозаводе. На втором этапе используют разработанную технологическую схему, позволяющую вводить в глинистый раствор реагенты-структурообразователи — цемент и жидкое стекло непосредственно в процессе нагнетания раствора. Схема предусматривает использование цементосмесительной машины 2СМН-20, цементировочного агрегата ЦА-320М, манифольдного блока 1БМ-7С0 и специально сконструированного шестеренчатого насоса с инжектором для подачи жидкого стекла во всасывающий коллектор насоса 9Т агрегата ЦА-320М.

Нагнетание тампонажного раствора в водоносный горизонт осуществляют по одной из разработанных технологических схем с применением пакерующих устройств ДАУ-1, ДАУ-1-2, ДАУ-2.

Качество приготовляемого тампонажного раствора и процесс нагнетания его контролируют и непрерывно записывают специально модернизированной автоматической станцией СКЦ-2М.

Разработан новый метод контроля качества выполненных тампонажных работ. Исходя из норм СНиПа, допускающих остаточный приток воды в ствол не более  $5 \text{ м}^3/\text{час}$ , рассчитывают величину допустимого остаточного коэффициента проницаемости  $K_{\min}$ . Для этого, зная по данным расходомерии значение мощности  $M_i$ , проницаемости  $K_i$  и напора  $H_i$  водоносных горизонтов, определяют среднее значение коэффициента проницаемости  $\bar{K}_{\text{пр}}$  всех водоносных горизонтов, вскрываемых стволом:

$$\bar{K}_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i H_i M_i}{\sum_{i=1}^n M_i H_i} \quad (29)$$

и общий ожидаемый приток воды в ствол:

$$Q = \frac{2\pi}{\mu \ln R_k / R_c} \sum_{i=1}^n K_i H_i M_i, \quad (30)$$

где  $R_c$  — радиус ствола шахты,  $m$ ;

$R_k$  — радиус контура влияния,  $m$ ;

Необходимый коэффициент снижения проницаемости водоносных горизонтов  $C$  определяется из уравнения:

$$C = \frac{\alpha Q}{Q_{\min}}, \quad (31)$$

где  $Q_{\min} = 5 \text{ м}^3/\text{час}$ ,  $\alpha$  — коэффициент запаса.

Качество тампонажа оценивают по изменению проницаемости тампонируемого водоносного горизонта, замеряемой с помощью расходомерии в тампонажных скважинах, после нагнетания тампонажного раствора в очередную скважину. Тампонаж считают эффективным, если проницаемость водоносного горизонта, замеренная перед нагнетанием в последнюю скважину, достигает расчетного минимума.

## Глава VII

### Промышленное внедрение разработанного комплексного метода тампонажа обводненных горных пород при сооружении шахтных стволов

Комплексный метод тампонажа внедрен на следующих объектах.

А. Предварительный тампонаж обводненных горных по-

род с поверхности земли успешно закончен на следующих объектах:

**шахта Нагольчанская 1—2**

вентиляционный ствол № 1;

вентиляционный ствол № 3;

**шахта Должанская Капитальная**

вентиляционный ствол Западного блока;

**шахта № 10 им. Володарского**

клетевой ствол;

**шахта Обуховская-Западная**

вспомогательный ствол.

Б. Остаточные водопитоки успешно подавлены в стволах:

**шахта Нагольчанская 1—2**

главный ствол (интервал 0—180 м);

вспомогательный ствол (интервал 0—180 м)

В. В стадии выполнения находятся работы по предварительному тампонажу:

**шахта Должанская Капитальная**

главный ствол,

вспомогательный ствол;

**шахта Суходольская Восточная**

главный ствол,

вспомогательный ствол;

**шахта им. Фрунзе**

главный ствол,

вспомогательный ствол,

вентиляционный ствол.

Г. В стадии выполнения находятся работы по подавлению остаточных притоков:

**шахта Нагольчанская 1—2**

главный ствол (интервал 200—400 м);

**шахта 1—2 им. Войкова**

вентиляционный ствол.

В главе VII описаны выполненные и выполняемые работы по 16 стволам. На поле шахты-новостройки Нагольчанская 1—2 главный ствол находится в проходке уже более 8 лет, достигнув глубины 933,6 м. На борьбу с водой только на этом горизонте затратили два года. Скорость проходки ствола до горизонта 933,6 м составила 18 м/мес. Вспомогательный ствол этой шахты до глубины 1016 м проходили 6 лет и 8 месяцев. Замедление работ объясняется катастрофическими притоками воды в ствол. В обоих случаях предварительный тампонаж выполняли из забоя шахтного ствола.

Предварительный тампонаж по разработанному новому комплексному методу был осуществлен Донбассантрацитовским управлением шахтной геологии на вентиляционных стволах № 1 и № 3 шахты Нагольчанской 1—2.

В вентиляционный ствол № 3 диаметром 5,7 м и глубиной 705 м ожидался суммарный приток воды 437,4 м<sup>3</sup>/час. Для выполнения тампонажных работ пробурили 6 наклонно-направленных скважин глубиной 705 м каждая и 3 скважины глубиной по 350 м. Нагнетание раствора осуществляли в каждый из 11 выявленных расходомерией водоносных горизонтов раздельно в порядке «снизу-вверх». Всего закачали 5448 м<sup>3</sup> глиноцементного тампонажного раствора. Расходометрические исследования с целью контроля качества выполненного тампонажа показали уменьшение коэффициента проницаемости ниже расчетного минимально допустимого (0,00169·10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup>). Наклонно-направленные скважины позволили выполнить все тампонажные работы параллельно с оснащением ствола. По окончании тампонажных работ ствол с глубины 49,1 м до 705 м прошли в рекордный для этих районов срок — 8 месяцев. В процессе проходки ствола вода практически не поступала в ствол; больше того — для пылеподавления в стволе вынуждены были подавать воду с земной поверхности. Суммарный остаточный приток воды в забое ствола составил 0,3 м<sup>3</sup>/час.

Средняя скорость проходки вентиляционного ствола № 3 в интервале 49,1—705,0 м составила 82 м/мес, а рекордная скорость, достигнутая в сентябре 1971 г., составила 121 м/мес.

Применение наклонно-направленных тампонажных скважин позволило с высокой эффективностью внедрить разработанный комплексный метод тампонажа при подавлении остаточных водопритоков в стволы шахт-новостроек. Так, после проходки главного и вспомогательного стволов шахты Нагольчанская 1—2, расположенных в 80 м один от другого, ос-

таточные притоки воды в интервале 0—180 м в каждый ствол составили 38 м<sup>3</sup>/час.

В соответствии с проектом подавления водопритоков вокруг обоих стволов пробурили 17 наклонно-направленных скважин, из которых 5 — двустольные и одна — трехствольная,

В четыре выявленных расходомерией водоносных горизонтов раздельно, в порядке «снизу-вверх», закачали 5218 м<sup>3</sup> глиноцементного тампонажного раствора (по расчету предусматривалось 5050 м<sup>3</sup>). В результате выполненных тампонажных работ приток в главный и вспомогательный ствол снизился с 38 м<sup>3</sup>/час до 2,5 м<sup>3</sup>/час и 3 м<sup>3</sup>/час соответственно. Все работы по тампонажу осуществляли параллельно с проходкой стволов.

Заслуживают внимания выполняемые в настоящее время по разработанному комплексному методу работы на главном и вспомогательном стволах шахты Суходольская Восточная и на главном, вспомогательном и вентиляционном стволах шахты им. Фрунзе, глубины которых 1000 и более метров. Тампонаж обводненных горных пород в этих стволах осуществляется через скважины, пробуренные с поверхности земли, на полные глубины стволов.

Широкое промышленное внедрение разработанного комплексного метода тампонажа доказало высокую эффективность и надежность входящих в него отдельных методов, применение глиноцементных тампонажных растворов, технических средств и разработанных технологических схем. Доказано также преимущество комплексного метода тампонажа перед методами цементации водоносных горизонтов из забоя ствола и с поверхности земли через вертикальные скважины.

Применение комплексного метода позволяет выполнять тампонаж обводненных горных пород через скважины, пробуренные с поверхности земли, как при сооружении глубоких шахтных стволов, так и при подавлении остаточных водопритоков.

Проходки шахтных стволов, на которых был осуществлен тампонаж по комплексному методу, показали высокую надежность и эффективность метода контроля качества выполненных тампонажных работ.

В процессе внедрения комплексного метода, в основном, использовали стандартное буровое и тампонажное оборудование, выпускаемое отечественной промышленностью.



## Глава VIII

### Технико - экономическая эффективность разработанного комплексного метода тампонажа при сооружении шахтных стволов

В расчетах эффективности внедрения новых технологических процессов преобладает один тип задач — сравнение вариантов. Поскольку обычное сравнение ведут по приведенным затратам, то одновременно определяют и экономический эффект. На принципе сравнения вариантов выбрана методика, позволяющая оценить эффективность разработанного комплексного метода. В качестве объектов для сравнения приняты 10 стволов шахт Должанская Капитальная, Нагольчанская 1—2 и им. Фрунзе.

Чтобы можно было сравнить различные варианты по каждому из принятых к анализу объектов, выполнены расчеты объемов и сроков работ по следующим схемам тампонажа:

1. Предварительная цементация водоносных горных пород из забоя ствола (базовый вариант) — вариант 1.

2. Предварительная цементация с земной поверхности по применяемой до настоящего времени методике: строго вертикальные тампонажные скважины, расположенные по окружности за контуром шахтного ствола, нагнетание цементационного раствора нисходящими заходками или на всю глубину скважины (сравниваемый вариант) — вариант 2.

3. Предварительный тампонаж с земной поверхности, выполняемый по разработанному новому комплексному методу (сравниваемый вариант) — вариант 3.

Расчеты по первому и второму вариантам тампонажа осуществляли в соответствии с методикой, разработанной ВНИИОМШСом; расчеты по третьему варианту — в соответствии с методикой, разработанной в ходе выполнения настоящей работы. Технологические принципы этих способов водоподавления отражаются в объемах и сроках подготовительного периода, стоимости оснащения проходки стволов, объемах, сроках и стоимости горных работ, в экономии (или перерасходе) накладных расходов строительства и др.

На основе объемов работ по вариантам определены:

а. сроки строительства стволов и шахт в целом в увязке с технологической последовательностью выполнения отдельных процессов, от начала подготовительного периода до окончания строительства шахты;

б. сметная стоимость сопоставимых объемов работ;

в. трудоемкость сопоставимых объемов работ.

В табл. 2 сведены общие результаты экономии (или удорожания) сооружения шахтных стволов с применением 2-го или 3-го вариантов тампонажа. Сопоставление произведено по отношению к 1 базовому варианту тампонажа из забоя.

Таблица 2

Сводная таблица экономической эффективности различных методов тампонажа обводненных горных пород при сооружении вертикальных шахтных стволов

Шахты	Стволы	Сравниваемые варианты тампонажа	Результативные данные расчетов, тыс. руб. (—) экономия, (+) удорожание				Всего
			изменение капитальных затрат	изменение фактической суммы накладных расходов	использование выскобленных средств для развития угольной промышленности		
Должанская Капитальная комбината «Свердловантрацит»	Главный	2	+140	-190	+16	-34	
		3	-764	-166	-91	-1021	
	Вспомогательный	2	+281	-119	+34	+196	
		3	-699	-95	-84	-878	
им. Фрунзе комбината «Донбассантрацит»	Вентиляционный	2	+357	-70	+43	+330	
		3	-21	-74	-3	-98	
	Главный	2	+878	-39	+105	+944	
		3	+51	-24	-6	+33	
Нагольчанская 1-2 комбината «Донбассантрацит»	Вспомогательный	2	+746	-58	+89	+777	
		3	-425	-38	-51	-514	
	Вентиляционный	2	+1673	-61	+201	+1811	
		3	+69	-42	+8	+35	
Нагольчанская 1-2 комбината «Донбассантрацит»	Главный	2	-52	-57	-6	-115	
		3	-937	-35	-112	-1084	
	Вспомогательный	2	-169	-53	-20	-242	
		3	-920	-37	-110	-1067	
	Вентиляционный	2	+20	-34	+2	-12	
		3	-433	-21	-62	-506	
	Вентиляционный № 1	2					
		3					
В целом по 10-ти стволам	Вентиляционный № 3	2	+61	-35	+7	+33	
		3	-423	-23	-51	-497	
	В целом по 10-ти стволам	2	+3935	-718	+471	+3688	
	3	-4502	-555	-540	-5597		

Экономия, получаемая в процессе строительства, не отражает полностью экономический эффект от внедрения новой техники и технологии. Так как основным источником национального дохода является выпуск продукции на введенных в действие предприятиях, то по известной принятой методике с учетом установленного нормативного коэффициента эффективности можно рассчитать экономический эффект окупаемости капиталовложений за счет сокращения сроков строительства. Результаты такого расчета в сопоставлении с 1 базовым вариантом приведены в табл. 3.

Таким образом, на основании выполненных расчетов экономия от внедрения разработанного комплексного метода тампонажа, отнесенная к 1 млн. рублей капитальных вложений в шахтном строительстве, выражается в размере:

- а. Сооружение шахтных стволов 163,8 тыс. руб. или 14,1%;  
б. Строительство шахт 11,3 тыс. руб. или 1,1%.

Кроме того, за счет досрочного ввода шахт в эксплуатацию эффект от окупаемости капитальных вложений выражается в размере 92,6 тыс. руб. на 1 млн. руб. сметной стоимости строительства.

Т а б л и ц а 3

Окупаемость капитальных вложений за счет сокращения сроков строительства

Шахты	Варианты тампонажа	Основные фонды млн. рубл. с учетом вариантов цементации	Изменение сроков строит. лет + увелич., — сокращ. по отношению к варианту I	Ожидаемый эффект млн. руб. в год + ущерб — прибыль
Должанская Капитальная комбината «Свердловантрацит»	2 3	163,7 161,4	+0,6 -0,67	+11,79 -12,98
Нагольчанская 1—2 комбината «Донбассантрацит»	2 3	130,7 128,1	-0,17 -0,92	-2,67 -14,14
им. Фрунзе комбината «Донбассантрацит»	2 3	114,6 111,0	+0,25 -0,75	+3,44 -9,99
В целом по трем шахтам	2 3			+12,56 -37,11

Приведенные данные характеризуют ожидаемый экономический эффект от применения разработанного комплексного метода. На основании этих данных осуществлен расчет эко-

номической эффективности по конкретным объектам, на которых выполнен или выполняется предварительный тампонаж обводненных горных пород с применением разработанного комплексного метода.

Расчетами установлено, что фактическая экономия только за счет снижения сметной стоимости по пяти шахтным стволам, на которых выполнены тампонажные работы, составила 1446 тыс. руб. Экономия от выполняемых в настоящее время работ составит 3286 тыс. руб. В расчет не вошли выполненные работы по подавлению остаточных водопритоков, хотя их экономическая эффективность и не вызывает сомнения.

Значительный экономический эффект от выполненных и выполняемых в настоящее время работ делает нецелесообразным расчет ожидаемой экономии от применения комплексного метода тампонажа в возможных случаях.

Разработанный комплексный метод с соответствующими изменениями нашел широкое применение в других областях горного дела. Особенно широкое распространение он получил при борьбе с поглощениями промывочной жидкости в разведочных и технических скважинах.

На предприятиях Донбассантрацитовского управления шахтной геологии метод полностью внедрен с 1965 г. К настоящему времени с его помощью успешно ликвидированы около 1000 поглощений промывочной жидкости. Комплексный метод борьбы с поглощениями промывочной жидкости стал основным в системе геологоразведочных организаций Минуглепрома СССР. При разведочном колонковом бурении это единственный метод, позволяющий рассчитывать процесс изоляции проницаемых горизонтов.

На базе разработанного комплексного метода создана технология беструбного крепления технических скважин, сооружаемых для шахтного водоотлива и канализации электроэнергии. Эта технология предусматривает выявление и изоляцию проницаемых горизонтов в скважинах, пройденных в устойчивых горных породах. Применение метода позволяет более чем в два раза увеличить полезную площадь поперечного сечения скважины, по сравнению со скважиной, пробуренной тем же диаметром, но закрепленной трубами. Кроме того, при водоотливе с агрессивными водами практически только применение этого метода делает возможным достаточно долго эксплуатировать водоотливные скважины. Так, на шахте № 153 комбината «Донбассантрацит» водоотливные скважины, обсаженные трубами нефтяного сортамента, выходили

из строя через 3—4 месяца работы из-за крайней агрессивности шахтных вод и коррозии труб. Сооруженные по разработанной технологии пять скважин успешно эксплуатируются уже около двух лет.

Одной из наиболее распространенных причин затопления горных выработок являлся некачественный ликвидационный тампонаж подсекаемых ими разведочных скважин. Проведенные в последние годы промышленные эксперименты и начавшееся широкое промышленное внедрение основанной на базе комплексного метода принципиально новой технологии ликвидационного тампонажа показало ее высокую эффективность и безусловную надежность.

В последние годы в Донбассе широкое распространение получил способ группового сооружения технических скважин. Для водоотлива и энергообеспечения крыла шахты методом РТБ бурят скважину диаметром 1020 мм и более. В скважину опускают пять—шесть колонн труб разных диаметров, а затрубное пространство цементируют. При всем очевидном удобстве и экономичности такого способа он имеет существенный недостаток. Цементированные в единую жесткую систему колонны труб разрываются и выходят из строя даже при незначительных подвижках горных пород, которые весьма часты в районах с развитыми горными работами.

В Донбассантрацитовском управлении для крепления затрубного пространства применен разработанный глиноцементный тампонажный раствор, описанный выше. Надежно изолируя затрубное пространство, этот тампонажный материал, вместе с тем, остается достаточно пластичным, позволяя трубам за счет изгиба компенсировать подвижки горных пород.

На шахте № 23 комбината «Донбассантрацит» на протяжении трех лет успешно эксплуатируют скважину глубиной 800 м с пятью колоннами труб; затрубное пространство скважины закреплено новым глиноцементным тампонажным раствором. Такие скважины работают еще на пяти шахтах этого и других комбинатов.

На базе комплексного метода Донбассантрацитовским управлением шахтной геологии разработан проект тампонажа горных пород с целью закрепления их в районе будущего околоствольного двора шахты Должанская Капитальная. Проект принят институтом «Южгипрошахт» и в настоящее время успешно осуществляется.

Разработанный глиноцементный тампонажный раствор получает распространение и при тампонажных работах из забоя

шахтного ствола. Так, во время проходки главного ствола шахты Нагольчанская 1—2 при бурении опережающей скважины с горизонта 933 м имел место прорыв воды с притоком  $260 \text{ м}^3/\text{час}$ ; в результате этого ствол оказался на вынужденном простое в течение двух лет. Сооружение бетонной подушки и нагнетание в пробуренные через нее скважины более 1000 т цемента положительных результатов не дало.

По решению Минуглепрома УССР тампонажные работы в стволе были переданы Донбассантрацитовскому управлению. Произведенными через шахтный ствол расходомерическими исследованиями в пробуренных скважинах установили, что была встречена почти вертикальная зияющая трещина, раскрытие которой составило 350—380 мм. Трещина рассекала пласт песчаника мощностью 36 м. В одной из скважин, вскрывших трещину, установили пакерующее устройство ДАУ-1, а через трубы, опущенные в ствол с земной поверхности, осуществили нагнетание  $4990 \text{ м}^3$  глиноцементного тампонажного раствора. Раствор нагнетали при давлении до  $300 \text{ кг/см}^2$  по разработанной технологической схеме. Остальные скважины, вскрывшие трещину, во время нагнетания были перекрыты.

По окончании тампонажа и бурения контрольных скважин бетонную подушку разобрали; ствол пройден без притока воды из песчаника.

Описанный пример подтверждает способность глиноцементных тампонажных растворов перекрывать трещины с очень большим раскрытием.

Несмотря на высокую эффективность и широкое распространение разработанного нового комплексного метода, не исключены пути его совершенствования. В частности, в настоящее время осуществляется разработка и начаты первые промышленные эксперименты по применению гидроразрыва обводненных горных пород в сочетании с разработанным методом. Это позволит сократить необходимое количество тампонажных скважин и расход тампонажных растворов.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ известных теоретических представлений о течении вязко-пластичных систем в трещиноватых горных породах показал, что они отражают лишь общие закономерности течения и не могут быть использованы для инженерных расчетов как размеров водоизоляционных завес, так и параметров нагнетания тампонажных растворов.

2. Теоретические и экспериментальные исследования соотношения сил, затраченных на преодоление вязких и пластических напряжений при течении вязко-пластичных жидкостей, показывают, что при малых скоростях течения силы на преодоление вязких напряжений ничтожно малы по сравнению с силами на преодоление пластических напряжений. Отмеченное обстоятельство позволяет рекомендовать для прикладных расчетов перепадов давления и радиусов распространения тампонажных растворов приближенные уравнения, учитывающие только пластические напряжения.

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили использовать известные теоретические представления о течении вязко-пластичных систем для получения расчетных уравнений и разработки методики проектирования тампонажа обводненных трещиноватых горных пород.

4. Установлено теоретически и подтверждено экспериментально, что максимально возможные контуры распространения тампонажных растворов в водоносном горизонте из одиночной скважины определяются, с одной стороны, параметрами трещиноватости горных пород и составом и реологическими характеристиками тампонажных растворов, а с другой — техническими возможностями оборудования.

5. Аналитическими исследованиями определены основные требования к тампонажным растворам. Установлено, что этим требованиям наиболее полно отвечают тампонажные растворы на глинистой основе с добавками в качестве структурообразователей цемента и жидкого стекла.

6. Исследования показали, что разработанные глиноцементные растворы по своим реологическим характеристикам соответствуют телу Шведова; деформационные характеристики этих растворов наиболее объективно определяются зависимостью эффективной вязкости в функции градиента скорости. В области прямолинейного участка реологической кривой деформационное поведение тампонажных растворов может быть описано уравнением Шведова-Бингама.

7. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правомерность использования в прикладных расчетах всех уравнений, полученных при аналитических исследованиях.

8. Надежная и достаточная для проектирования водоизоляционных завес информация о месте положения, гидродинамических свойствах и параметрах трещиноватости водонос-

ных горизонтов может быть получена только в результате комплексных исследований, включающих расходомерию, сбор и систематизацию геологической информации, определение направления движения подземных вод и определение проницаемости трещиноватых горных пород в различных направлениях. Расходомерия позволяет получать наиболее ценную информацию.

9. Проницаемость горных пород по основным направлениям трещиноватости, необходимую для определения формы и размеров водоизоляционных завес и контуров нагнетания, целесообразно определять на основании соотношения проницаемости в различных направлениях по методике, в основе которой лежит метод построения гидроизогибс динамических уровней в кусте скважин при возмущении центральной.

10. Для обеспечения необходимой устойчивости водоизоляционной завесы вокруг шахтного ствола расчет ее геометрических размеров в каждом водоносном горизонте необходимо выполнять исходя из условий прочностных характеристик тампонажного материала и максимального раскрытия трещин.

11. Инженерные расчеты, связанные с формированием водоизоляционной завесы необходимых размеров вокруг шахтного ствола по каждому водоносному горизонту, базируются на определении оптимального количества наклонно-направленных тампонажных скважин с учетом максимально возможных контуров распространения тампонажного раствора из каждой скважины.

12. Для реализации основных теоретических выводов созданы и широко внедрены специальные глиноцементные тампонажные растворы.

13. С той же целью разработаны следующие приборы и технические средства:

1. Скважинные расходомеры ДАУ-ЗМ-73, ДАУ-ЗМ-108.

2. Пакерующие устройства:

а) механические пакеры ДАУ-1;

б) двойные механические пакеры ДАУ-1-2;

в) гидромеханические пробки ДАУ-2.

3. Прибор для определения направления движения жидкости в пласте — ДАУ-6.

4. Инъекционный насос.

14. На базе теоретических выводов с применением технических разработок создан комплексный метод тампонажа обводненных трещиноватых горных пород через наклонно-направленные скважины, пробуренные с земной поверхности,

который включает новые методики производственных исследований и расчетов, а именно: методику расходометрических исследований; методику сбора и обобщения геологической информации о параметрах трещиноватости водоносных горизонтов; методику определения направления потока подземных вод и основной системы трещин; методику определения соотношения проницаемости горных пород в различных направлениях; методику оценки качества выполненных тампонажных работ; методику расчета параметров трещиноватости; методику расчета оптимальных параметров противифльтрационных завес; методику определения оптимального количества тампонажных скважин; методику расчета параметров нагнетания тампонажных растворов.

15. Разработанные новые методики вызвали необходимость коренного пересмотра применяемых технологических схем приготовления и нагнетания тампонажного раствора. Вновь разработаны технологическая схема введения цемента и жидкого стекла в глинистый раствор в процессе нагнетания и схемы нагнетания тампонажных растворов под давлением с использованием модернизированной станции контроля СКЦ-2М.

16. Вновь разработанный комплексный метод тампонажа обводненных горных пород отличается от известных в горном деле методов тампонажа следующим:

- а) теоретически обоснованным инженерным расчетом всех элементов процесса изоляции водоносных горизонтов;
- б) объективная информация о фильтрационных свойствах горных пород базируется на непосредственных измерениях, а не определяется косвенным путем;
- в) для тампонажа водоносных горных пород используются наклонно-направленные скважины;
- г) тампонаж выполняется новыми, эффективными и недорогими глиноцементными тампонажными растворами по усовершенствованным технологическим схемам;

д) результаты тампонажа могут быть объективно оценены до начала горнопроходческих работ.

17. Новый комплексный метод внедрен в следующих масштабах:

- а) успешно выполнены работы по предварительному тампонажу на 5 стволах с суммарной глубиной их 3443 м;
- б) успешно выполнены работы по подавлению остаточных водопритоков на 3 стволах;
- в) проводятся работы по предварительному тампонажу на

7 стволах с суммарной глубиной их 6441,5 м и на 2 стволах по подавлению остаточных водопритоков;

г) Министерством угольной промышленности УССР новый комплексный метод рекомендован для повсеместного применения при проходке шахтных стволов в трещиноватых горных породах;

д) Министерством угольной промышленности СССР издана инструкция по проведению расходометрических исследований;

е) ряд новых технических и методических разработок используется при проектировании институтом ВНИИОМШС;

ж) по разработанной методике осуществляется проектирование тампонажа при проходке шахтных стволов глубиной свыше 1300 м на руднике им. Володарского;

з) комплексный метод тампонажа принят проектными институтами «Южгипрошахт» и «Днепрогипрошахт» при проектировании.

18. Фактическая экономия, полученная в результате выполненных работ по новому методу предварительного тампонажа на 5 сооруженных стволах, составляет 1446 тыс. руб. Экономия от выполняемых в настоящее время тампонажных работ на 7 шахтных стволах составит 3286 тыс. руб.

19. Выполненные теоретические, методические и технологические разработки нашли широкое применение в других областях горного дела, а именно: при борьбе с поглощениями в разведочных и технических скважинах; при беструбном креплении технических скважин; при тампонаже затрубного пространства скважин, сооружаемых кустовым способом; наконец, при ликвидационном тампонаже разведочных скважин.

20. Дальнейшие научные разработки следует вести в направлении применения комплексного метода для тампонажа водоносных горизонтов, представляемых микротрещиноватыми и пористыми породами, которые в настоящее время трудно поддаются тампонажу известными методами.

\* \* \*

Настоящая диссертационная работа докладывалась и получила одобрение на НТС Минуглепрома УССР, на объединенном заседании кафедры шахтного строительства и кафедры техники и технологии геологоразведочных работ Днепропетровского горного института, в Институте геотехнической механики АН УССР, в институте КузНИИШахтострой, в проектных институтах «Донгипрооргшахтострой» и «Днепрогипрошахт» и на НТС комбината «Ворошиловградшахтострой».

Основные положения диссертации опубликованы в 36 печатных работах и защищены тремя авторскими свидетельствами. За разработки, выполненные в ходе диссертационной работы, автор награжден двумя серебряными и одной золотой медалями ВДНХ СССР.

Основные положения диссертации освещены в следующих работах:

1. Изоляция зон поглощения промывочной жидкости в скважинах с помощью цементировочного агрегата ЦА-320М. МУП УССР, ОБТИ, г. Луганск, 1966. (соавторы Г. Т. Николаенко, Ф. К. Бондаренко).

2. Изоляция старых горных выработок при пересечении их скважинами. «Разведка и охрана недр», № 1, 1967, (соавторы Г. Т. Николаенко, Ф. К. Бондаренко).

3. Скважинный расходомер ДАУ-3. Проспект ВДНХ СССР. МУП УССР, ОБТИ, г. Луганск, 1967, (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

4. Опыт изоляции зон поглощения промывочной жидкости в разведочном колонковом бурении в условиях Донбасса. ОНТИ-ВИЭМС, г. Москва, 1967 (соавторы Ф. К. Бондаренко, Г. Т. Николаенко, Л. В. Макаров).

5. Пакерующее устройство для ликвидации поглощений промывочной жидкости при колонковом бурении. «Уголь Украины», № 8, 1967.

6. Временная инструкция по исследованию поглощающих горизонтов в скважинах расходомером ДАУ-3. МУП УССР, ОБТИ, г. Луганск, 1967, (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

7. Скважинный расходомер ДАУ-3. МУП УССР, ОБТИ, г. Луганск, 1967.

8. Беструбная изоляция зон поглощения, связанных с пересечением скважиной горных выработок. «Уголь Украины», № 11, 1967. (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

9. Ликвидация поглощений промывочной жидкости при бурении скважин в условиях антрацитовых районов Донбасса. УкрНИИ НТИ и ТЭИ г. Киев, 1967 (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

10. Влияние наполнителей на структурно-механические свойства тампонажных смесей, применяемых для борьбы с поглощениями промывочной жидкости. МУП УССР, ОБТИ, г. Луганск, 1967. (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

11. Гидрогеологические исследования расходомером ДАУ-3 в разведочных и контрольно-технических скважинах колонкового бурения. Тезисы докладов третьего Всесоюзного геологического совещания по твердым полезным ископаемым, г. Ростов-на-Дону, 1967.

12. Исследования зон поглощения в скважинах. «Разведка и охрана недр», № 2, 1968 (соавторы Л. М. Ивачев, Л. В. Макаров, М. А. Саламатов).

13. Исследование зон трещиноватости в карбонных отложениях Донбасса прибором ДАУ-3. Сб. Изучение физико-механических свойств горных пород в Донбассе, г. Донецк, 1969. (соавторы И. М. Ксенда, Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

14. Пакерующее устройство ДАУ-1. Проспект ВДНХ СССР. МУП УССР, ЦБТИ, г. Луганск, 1968. (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

15. Инструкция по изоляции поглощающих горизонтов в скважинах методом нагнетания тампонажной смеси. МУП УССР, ЦБТИ, г. Луганск, 1968. (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

16. Пути увеличения прочности структуры тампонажных смесей на глинистой основе. «Уголь Украины», № 9, 1969. (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов, Ю. А. Полозов).

17. Ликвидационный тампонаж методом закачки в скважину под давлением тампонажной смеси на глинистой основе. Труды Свердловского горного института им. В. В. Вахрушева. Сб. «Совершенствование технологии разведочного бурения», г. Свердловск, 1969 (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

18. К вопросу о выборе и исследовании тампонажных смесей, предотвращающих поглощение промывочной жидкости. Труды Свердловского горного института им. В. В. Вахрушева. Сб. «Совершенствование технологии разведочного бурения», г. Свердловск, 1969 (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

19. Скважинный расходомер. Авторское свидетельство № 281334, 1970 (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

20. Модернизация агрегата ЦА-320 для закачки высоковязких тампонажных смесей. УкрНИИНТИ, ЦТИ, г. Ворошиловград, 1971. (соавторы Ю. А. Полозов, Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

21. Новая методика работ по постановке противодиффузионных

ционных завес при цементации горных пород с поверхности. «Уголь Украины», № 4, 1971. (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

22. Инструкция по исследованию проницаемых горизонтов в скважинах расходомером ДАУ-3М. Минуглепром СССР, Ворошиловградский областной совет НТО, г. Ворошиловград, 1971 (соавторы М. А. Саламатов, Л. М. Ивачев, О. Ю. Лушникова, Ю. А. Полозов).

23. Прибор для определения направления движения жидкости по пласту. Авторское свидетельство № 311139, 1971, (соавторы Б. И. Сингаевский, В. П. Хамлай, Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов, Ю. А. Полозов).

24. Прибор для определения направления движения жидкости по пласту ДАУ-6. Проспект ВДНХ СССР. Минуглепром УССР, Ворошиловградский областной совет НТО, г. Ворошиловград, 1972. (соавторы Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов, Ю. А. Полозов, О. Ю. Лушникова).

25. Исследование вязкостных свойств тампонажных смесей. «Шахтное строительство», № 2, 1972. (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов, Г. А. Бугораев).

26. К вопросу эффективности изоляции трещиноватых зон поглощения в скважинах. Тезисы доклада Украинской республиканской конференции «Перспективы расширения минерально-сырьевой базы юга Украины», г. Днепрпетровск, 1972 (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

27. Экспериментальные исследования гидродинамических давлений при спуско-подъемных операциях. «Разведка и охрана недр», № 5, 1972 (соавторы Л. М. Ивачев, В. А. Лагунов, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

28. Механизация приготовления глиноцементных смесей при изоляции водоносных горизонтов вокруг строящихся стволов шахт. МУП УССР, ЦБНТИ, г. Донецк, 1972. (соавторы В. А. Лагунов, Ю. А. Полозов, Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов).

29. Определение гидравлических сопротивлений при движении вязко-пластических жидкостей в трещинах горных пород. Горный журнал, № 5, 1972. (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

30. Тампонаж водоносных горизонтов с поверхности при сооружении ствола. «Шахтное строительство», № 11, 1972. (соавторы Ю. А. Полозов, О. Ю. Лушникова, Л. М. Ивачев, М. А. Саламатов, Г. А. Бугораев).

31. Тампонаж затрубного пространства в технических скважинах глиноцементными смесями. Минмонтажстрой СССР. Реферативная информация о передовом опыте. Серия V. Специальные работы в промышленном строительстве, вып. 7 (73) 1972. (соавторы Л. М. Ивачев, В. А. Лагунов, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

32. Ликвидация поглощений при колонковом бурении. «Недра», М., 1972 (соавторы Н. И. Титков, Л. М. Ивачев, В. А. Никишин, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).

33. Групповое сооружение трубопроводов в скважинах большого диаметра. МУП УССР. ЦБНТИ, г. Донецк, 1972. (соавтор Г. А. Гордиенко).

34. Исследования водоносных горизонтов в скважинах, проходимых для подавления водопритоков при сооружении шахтных стволов. «Уголь Украины», № 1, 1973. (соавторы Ю. А. Полозов, Л. М. Ивачев, О. Ю. Лушникова, М. А. Саламатов).

35. Тампонажная смесь на глинистой основе. Решение о выдаче авторского свидетельства по заявке № 1753962/22-3 от 1 марта 1972 г. (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов, Г. Т. Кипиани, А. М. Куш).

36. Инструкция по проектированию и производству изоляционных работ методом нагнетания тампонажных смесей при ликвидации поглощений промывочной жидкости. Минуглепром СССР. Изд-во Ворошиловградская правда, г. Ворошиловград, 1973. (соавторы Л. М. Ивачев, Ю. А. Полозов, М. А. Саламатов).