

УДК 622.527.002.56

И.А. Поддубный

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗОЛЯЦИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ

В настоящее время происходит углубление горных работ, отработаны легкодоступные месторождения, идет консервация и ликвидация нерентабельных шахт. Консервация и ликвидация угольных шахт идет, как правило, путем их затопления. Это приводит к повышению уровня подземных вод, загрязнению чистых водоносных горизонтов и, в целом, к ухудшению экологической обстановки в угольных регионах. Кроме того, в России более 20000 м участков выработок находятся в затопленном состоянии только вследствие аварий на шахтах.

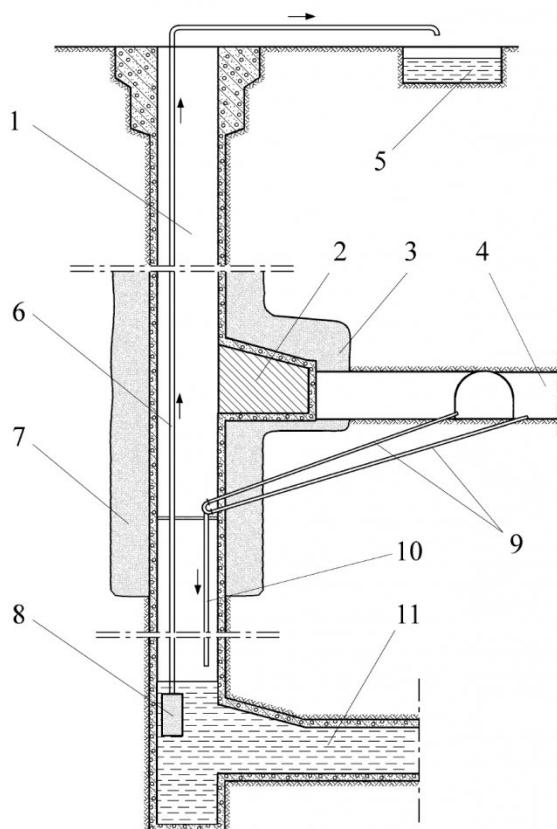
Весьма перспективной является «сухая» консервация угольной шахты, когда осуществляется

дренирование подземных вод в ствол и последующая их откачка в очистные сооружения на поверхности. Однако, применение традиционной технологии дренирования и сбора воды приводит к значительным размерам депрессионной воронки и большим водопритокам, что в свою очередь требует создания подземных водосборников увеличенного размера и значительных затрат на водоотлив. Отсутствие регулирования дренирования подземных вод приводит, например, к увеличению притока воды во время паводка более чем в два раза.

Представляется целесообразным рассмотреть возможность регулирования притока воды в вертикальную выработку путем сооружения вокруг ствола тампонажно-дренажной завесы и возведения водоупорных перемычек в сопряжениях с горизонтальными выработками для создания подпора подземных вод и регулирования перепуска воды через дренажные и водоспускные скважины. При этом особую актуальность приобретают вопросы обоснования параметров технологии тампонажа, возведения водоупорных перемычек и сооружения водоспускных скважин, учитывающих специфику сопряжения вертикальной выработки с горизонтом.

Анализ показывает [1], что наряду с дренированием подземных вод весьма эффективным является способ предупреждения внезапных прорывов воды в горные выработки путем возведения водоупорных предохранительных перемычек. В Кузбассе ежегодно усиливают и сооружают более 1000 изолирующих перемычек. Из них более одной трети являются водоупорными, рассчитанными на большие давления воды до 1-2 МПа и более, и возводятся в основном из бетона со врубами. Низкая эффективность работы водоупорных перемычек под большим давлением обусловлена значительными перетоками воды через массив нарушенных горных пород вокруг тела перемычки. Для протяженных горизонтальных выработок эта проблема в значительной степени решена в КузНИИшахтострое и КузГТУ.

В сопряжениях вертикальных выработок, когда тело перемычки выходит непосредственно в ствол и ее форма имеет «обратную» клиновидность, решение вышеуказанной проблемы приобретает особую актуальность. При этом перспективным является инъекционная подготовка массива горных пород тампонажными растворами для исключения перетока воды вокруг тела перемычки и улучшения его сцепления с массивом горных пород.



*Рис. 1. Принципиальная технологическая схема изоляции выработок горизонта от затопления:*  
1 – вертикальный ствол; 2 – перемычка в сопряжении вертикального ствола с горизонтом; 3 – противофильтрационная тампонажная завеса вокруг тела перемычки; 4 – изолируемый горизонт; 5 – отстойник; 6 – став труб водоотлива на поверхность; 7 - противофильтрационная тампонажная завеса вокруг ствола; 8 – погружной насос; 9 – водоспускные скважины; 10 – водоспускная труба; 11 – горизонт – водосборник

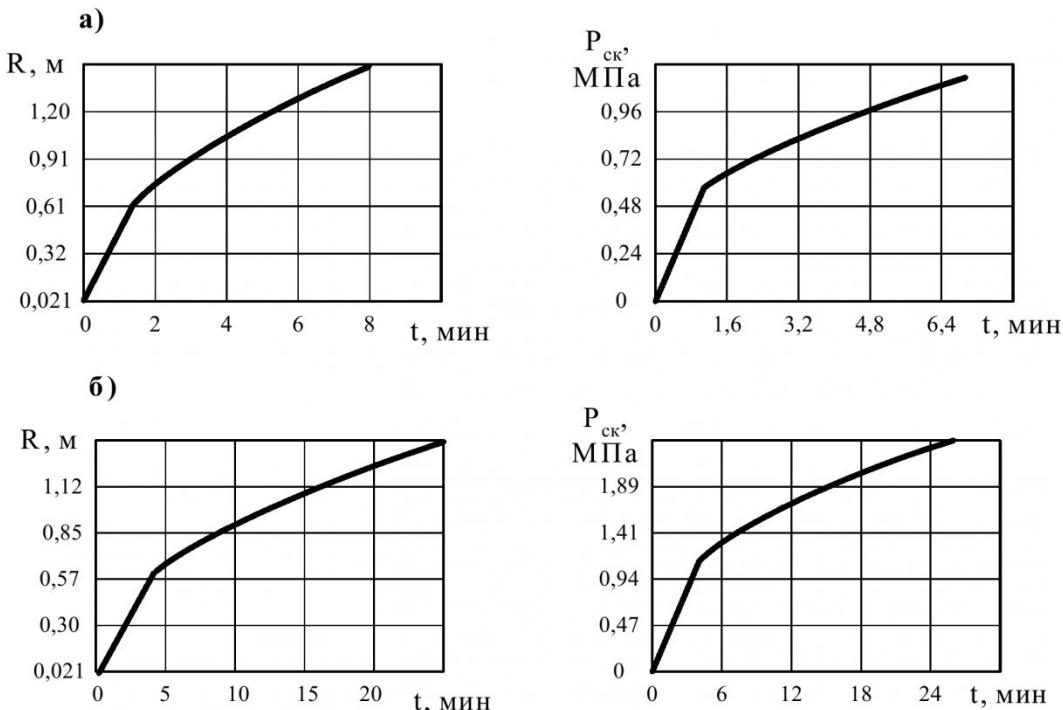


Рис. 2. Графики зависимости радиуса распространения раствора  $R$  и давления на скважине  $P_{ск}$  от времени нагнетания при раскрытии трещин  $0,0005$  м (а) и  $0,005$  м (б)

На основании изложенного выше, целесообразно рассмотреть вопрос организации регулируемого дренирования (водоспуска) подземных вод посредством возведения водоупорных перемычек в сопряжениях вертикальной выработки с горизонтальными, возведения вокруг перемычек и по длине ствола противофильтрационной тампонажной завесы, сооружения дренажных и водоспускных скважин, соединяющих ствол с заполненными водой горизонтальными выработками. При этом использование существующих рекомендаций по технологии тампонажа и оценке водопретоков не представляется возможным ввиду особенностей геометрии фильтрации тампонажного раствора и воды в районе сопряжений вертикальной выработки.

Предлагаемая комбинированная технологическая схема (рис.1) включает в себя создание противофильтрационной тампонажной завесы вокруг ствола по его длине, возведение в сопряжениях ствола с другими горизонтами предохранительных водоупорных перемычек с предварительной инъекционной подготовкой массива горных пород, возведение дренажных (водоспускных) скважин из ствола до пересечения с вышеуказанными затопленными выработками. При этом водоспускные скважины позволяют регулировать размеры депрессионной воронки, напор подземных вод и приток воды в водохранилище. Это в свою очередь позволяет регулировать систему водоотлива, причем появляется возможность регулирования водоотлива в экстремальных ситуациях (например, во время паводка).

Основными параметрами технологии тампонажа являются давление нагнетания раствора, его расход в скважину, радиус распространения, время нагнетания, плотность заполнения трещин и пустот тампонажным камнем. При численных расчетах за основу взята модель нестационарной фильтрации тампонажного раствора в неоднородных средах, разработанная в КузГТУ В.А. Хямляйненом [2]. Расчеты выполнены с использованием компьютерной программы, разработанной в КузГТУ совместно с В.М. Пампурой. При этом в процессе исследований особое внимание уделялось процессам тампонажа в местах сопряжения вертикальной и горизонтальной выработок.

В соответствии с классическими представлениями подземной гидродинамики, основная задача о течении тампонажного раствора от скважины сведена к определению распределения давления из уравнения:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ rF \frac{\partial P}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ F \frac{\partial P}{\partial z} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ F \frac{\partial P}{\partial \varphi} \right] = \\ = \frac{m_0 \cdot \beta}{1 + \beta P(m_0 / m)} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $P$  – давление, Па;  $m_0$ , м – коэффициенты трещинной пустотности массива горных пород до и в процессе тампонажа;  $\beta$  – комплексный параметр трещинного вакуума, равный  $\beta = \beta^*/m$  ( $\beta^*$  – коэффициент объемного сжатия горных пород, Па<sup>-1</sup>);  $F$  – функция физического состояния системы «тампонажный раствор – массив горных пород», впервые

введенная Хямляйненом В.А., характеризующая изменение коэффициента проницаемости в процессе тампонажа и реологию тампонажного раствора,  $m^2/Pa \cdot c$ ;  $r, z, \varphi$  - цилиндрические координаты,  $m$ ;  $t$  - время,  $c$ .

Наиболее характерные результаты по оценке радиуса распространения раствора и давления на скважине при изменении раскрытия трещин от 0,5 до 5 мм приведены на рис.2.

При оценке величины водопритока через массив горных пород вокруг водоупорной перемычки в основу математической фильтрационной модели положены ранее разработанные автором совместно с КузГТУ фильтрационные модели перетока воды через перемычку, установленную в протяженной горизонтальной выработке, и притока воды в выработку через тампонажно-дренажную завесу.

В соответствии с предложенной технологической схемой изоляции выработки от затопления рассмотрена комбинированная расчетная фильтрационная модель, позволяющая оценить приток воды в ствол через массив вокруг перемычки и по длине ствола. Численное решение поставленной задачи сведено к суперпозиции решений двух вышеотмеченных задач. В отличие от ранее рассмотренной задачи [1] учтено переменное сечение перемычки по длине выработки.

Оценка величины водопритока через массив горных пород непосредственно вокруг перемычки сводится к двумерной краевой задаче по определению давления воды  $P$  в области фильтрации из следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ rk(r) \frac{\partial P}{\partial r} \right] + k(r) \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = 0, \quad (2)$$

где  $k(r)$  - распределение коэффициента проницаемости в различных областях фильтрации,  $m^2$ ;  $x, r$  - цилиндрические координаты,  $m$ .

Границные условия представляют собой задание давления воды на внешних границах областей с различной проницаемостью задается равенство давлений и их градиентов, то есть скоростей, на границах перемычки задается условие неперетекания жидкости.

В соответствии с ранее построенной моделью фильтрации воды через тампонажно-дренажную завесу [3] задача по оценке перетока воды сведена к решению двух плоских задач. Оценка притока воды в ствол через тампонажную завесу между соседними шпурами сведена к решению следующего дифференциального уравнения для давления:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ rk(r) \frac{\partial P}{\partial r} \right] + \frac{k(r) \partial^2 P}{r^2 \partial \varphi^2} = 0, \quad (3)$$

где  $r, \varphi$  - полярные координаты в поперечном сечении ствола. Задача по определению притока через дренажные шпуры сведена к решению дифференциального уравнения, аналогичного (2).

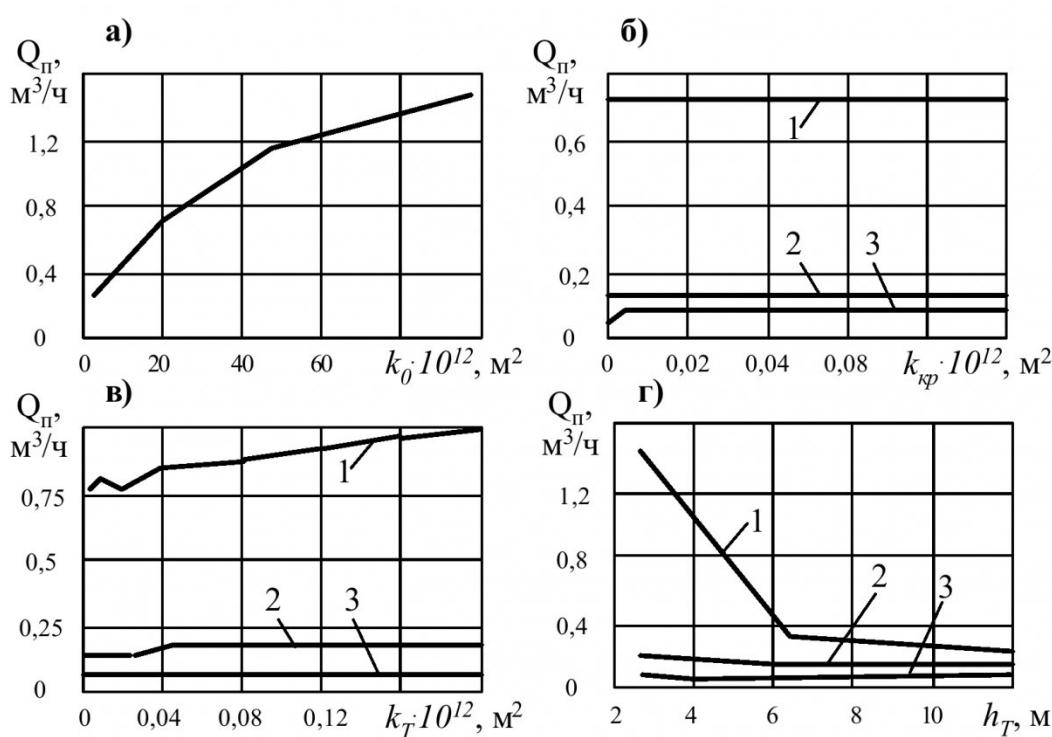


Рис. 3. Графики зависимости величины перетока воды вокруг перемычки до тампонажа от коэффициента проницаемости на контуре выработки  $k_0$  (а) и после тампонажа от коэффициента проницаемости крепи и закрепленной оболочки  $k_{kp}$  (б), коэффициента проницаемости тампонажной завесы  $k_T$  (в) и толщины завесы  $h_T$  (г): 1 -  $k_0 = 100 \cdot 10^{-12} m^2$ ; 2 -  $k_0 = 10 \cdot 10^{-12} m^2$ ; 3 -  $k_0 = 1 \cdot 10^{-12} m^2$

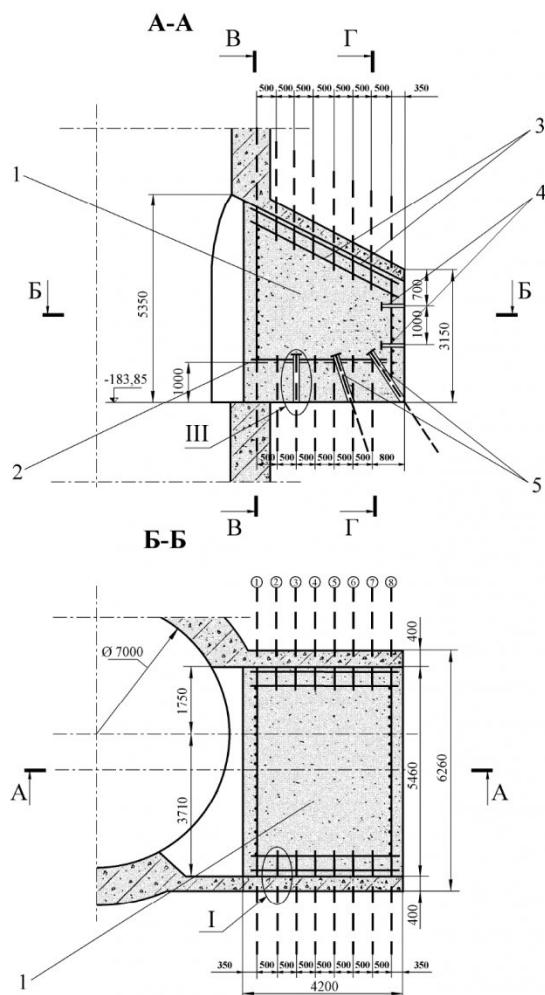


Рис. 4. Схема расположения арматуры, железобетонных анкеров и кондукторов:

1 – бетонная перемычка; 2 – граница бетонной подушки; 3 – продольная арматура Ø 16 мм длиной 4,2 м; 4 – труба кондукторная Ø 48 мм длиной 0,7 м, 3 шт.; 5 – труба кондукторная Ø 146 мм длиной 1,2 м, 17 шт.

На рис.3 в виде графиков приведены результаты оценки величины перетока воды в обход перемычки до (рис.3, а) и после (рисунок 3, б, в, г) тампонажа.

Анализ результатов численного счета показывает, что на величину перетока воды через массив вокруг перемычки наличие тампонажной завесы не оказывает существенного влияния вследствие клиновидности перемычки и возможности перетока воды через нарушенный в сопряжении массив за пределами зоны тампонажа (рисунок 3, а, в). Проницаемость закрепной оболочки (крепи) вокруг перемычки не влияет на величину перетока (рис.3, б). Уменьшение влияния толщины тампонажной завесы наблюдается, начиная с расстояния 7 м от поверхности перемычки (рис.3, г).

Обоснование и разработка технологии осуществлены с учетом вышеприведенных результатов моделирования течения тампонажных растворов и воды в массиве горных пород. Технологическая

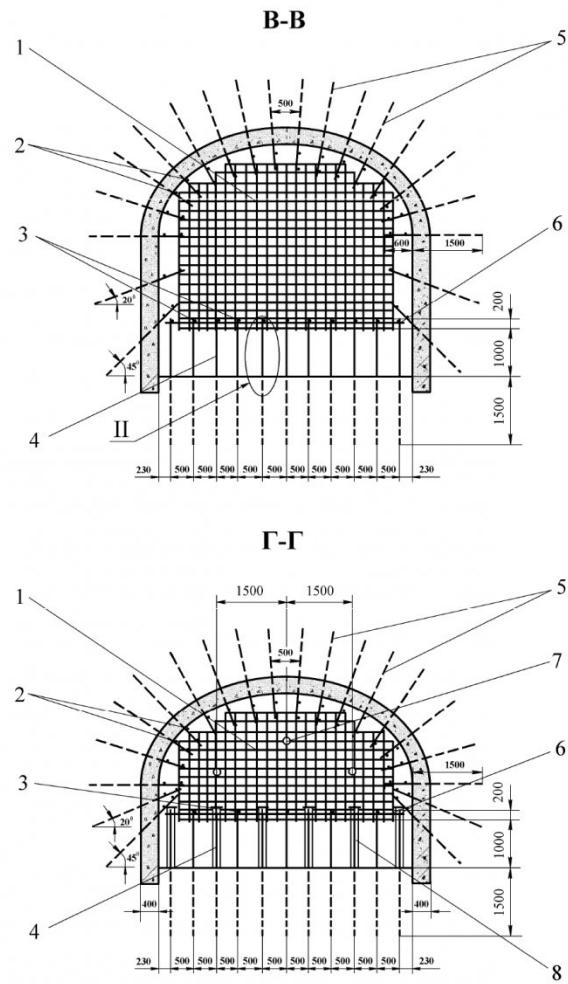


Рис. 5. Схема расположения арматуры кондукторных труб и металлической сетки в сечениях сопряжения ствола рис. 3.5:

1 – металлическая сетка № 20; 2 – продольная арматура Ø 16 длиной 4,2 м; 3 – продольная арматура Ø 16 длиной 3,85 м; 4 – железобетонный анкер длиной 2,7 м; 5 – железобетонный анкер длиной 2,1 м; 6 – поперечная арматура Ø 16 длиной 5,2 м; 7 – труба кондукторная Ø 48 мм длиной 0,7 м, 3 шт.; 8 – труба кондукторная Ø 146 мм длиной 1,2 м, 17 шт.

схема разработана совместно с КузНИИшахтостроем для широкого круга горнотехнических и горно-геологических условий сооружения вертикальных стволов угольных шахт. Численные значения параметров технологии и конкретизация отдельных моментов получены для условий сопряжений осевого вентиляционного ствола ГП «Шахта «Байдаевская» с гор. -100,0 м (пласт 30) и гор. -183,95 м (пласт 29 а).

По аналогии с технологией возведения водупорных перемычек в протяженных выработках перемычка сооружается последовательно четырьмя заходками. В отличие от известной технологии сцепление перемычки с массивом горных пород усиливается железобетонными анкерами, а тело

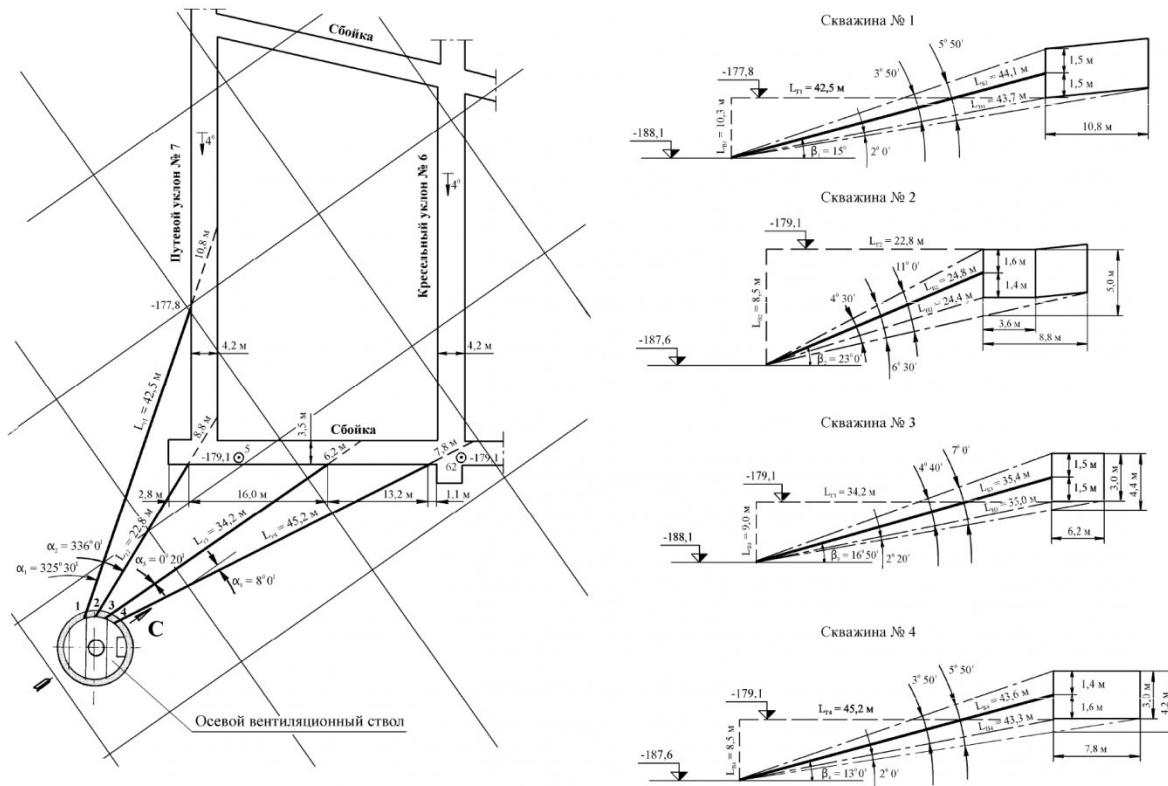


Рис. 6. Схема расположения водоспускных скважин при бурении с рабочего полка № 1

перемычки усиливается продольной арматурой. В первом и последнем рядах по длине перемычки на железобетонные анкеры устанавливается металлическая сетка. Схема расположения железобетонных анкеров и кондукторов для нагнетания раствора показана на рис.4; конструкция и расположение арматуры, металлической сетки показаны на рис. 5.

### Максимальный дебит водоспускных скважин

Номер скважины	1	2	3	4	5	6	7	1-7
Дебит, м <sup>3</sup> /ч	225	296	252	229	170	171	193	1536

## Таблица 2 Результаты натурных замеров водопритоков на ГП «Шахта «Байдаевская»

Месяц года	Измеренная величина водопри- тока ( $m^3/s$ ) по годам		
	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Январь	378	316	347
Февраль	376	317	316
Март	416	331	356
Апрель	455	484	447
Май	488	526	390
Июнь	350	526	356
Июль	339	481	353
Август	367	453	344
Сентябрь	452	456	379
Октябрь	455	388	346
Ноябрь	403	386	317
Декабрь	348	366	333

Разработаны рекомендации по бурению и оборудованию скважин, цементации их стволов. Выполнен расчет параметров дренажа подземных вод через водоспускные скважины и тампонажную завесу как по длине ствола, так и вокруг водоупорных перемычек. Разработаны схемы водоотлива в главный водосборник и непосредственно на очистные сооружения на поверхности. Выполнены

Таблица 1

блица 1 нен расчет производительности насосов. Все рекомендации по технологии цементирования пород вокруг скважины и дренированию подземных вод осуществляются на основе результатов моделирования течения тампонажных растворов и фильтрации воды. Для осевого вентиляционного ствола шахты «Байдаевская» предусмотрено сооружение семи водоспускных скважин при бурении с двух рабочих полков. Схемы расположения водоспускных скважин приведены на рис. 7. Максимальные расчетные дебиты водоспускных скважин приведены в табл.1.

Результаты натурных замеров водопритоков приведены в табл.2.

Конструкция водоспускной скважины включает в себя ствол скважины с установленной в нем трубой-кондуктором и закрепляющими ее металлическими анкерами, тройник, задвижку, запорные вентили, манометр, отводящие и подводящие напорные шланги. Глубина заделки трубы-кондуктора, рассчитанная по условию среза цементного камня между трубой и породой, - 2,67 м. Диаметр анкерного болта для крепления трубы-

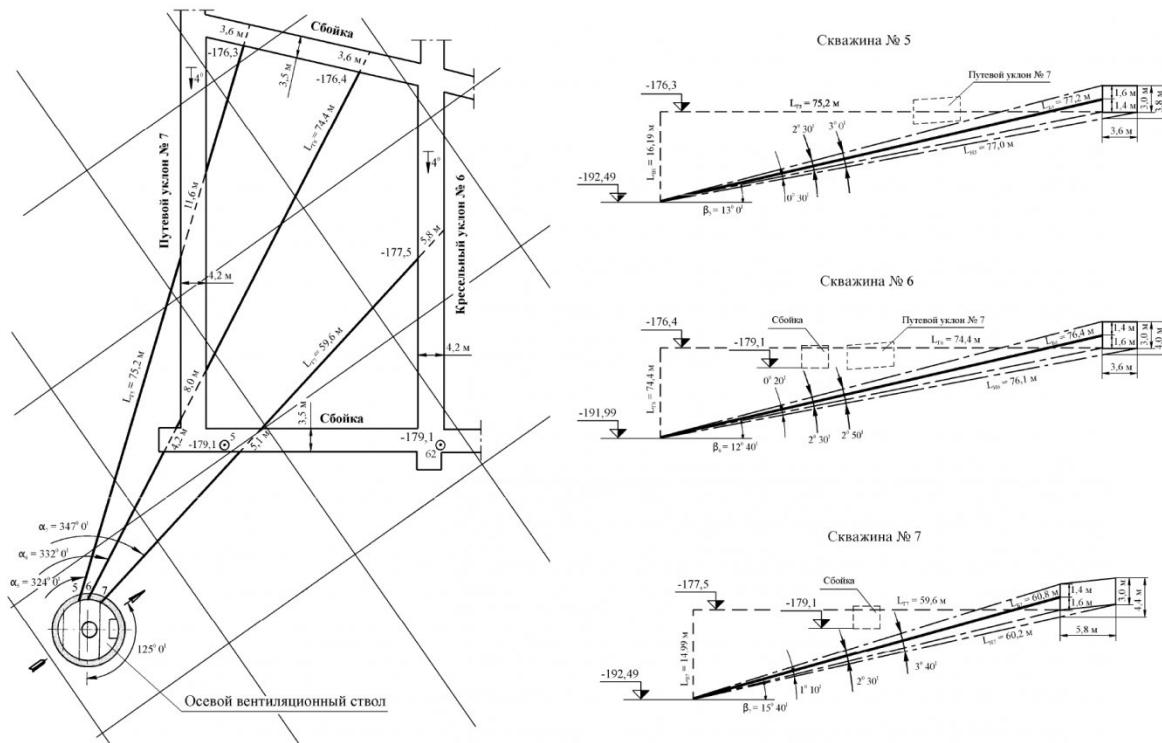


Рис. 7. Схема расположения водоспускных скважин при бурении с рабочего полка № 2

кондуктора – 9 мм. Нагрузка на буровой станок при внезапном прорыве подземных вод при диаметре скважины 76 мм - 6450 Н. Этим определяется целесообразность бурения станком СБГ-1м, усилие подачи которого составляет 645 кН. Усредненная интенсивность искривления водоспускных скважин в борт выработки - 0,1489 град/м; в почву – 0,0939 град/м. Для уменьшения искривления скважин следует по возможности бурить перпендикулярно насыщанию пород, с небольшими осевыми нагрузками на буровой став.

Для предотвращения вероятного гидроудара на буровой станок в момент выбуривания в затопленную выработку целесообразно использовать разработанное запорное устройство (превентор), состоящий из кондукторной трубы, задвижки, переходника и шарового крана. В отличие от обычного тампонажа по окончании нагнетания производят бурение по несхватившемуся тампонажному раствору. Максимальные дебиты водоспускных

скважин - от 170 до 296 м<sup>3</sup>/ч, а средняя их пропускная способность - от 88 до 145 м<sup>3</sup>/ч. Время спуска воды из затопленных выработок - 19,7 суток. Максимальный дебит - 1536 м<sup>3</sup>/ч, а суммарная средняя пропускная способность всех скважин – 770 м<sup>3</sup>/ч.

Для условий шахты «Байдаевская» откачуку воды с гор.-300,0 м в главный водосборник гор.+110,0 м следует осуществлять центробежными насосами ЦНС 300x480, а на очистные сооружения – насосами ЦНС 180x900. Время перепуска воды при нормальном водопритоке - 30,3 сут, а в период максимального водопритока – 32,4 сут.

Таким образом, разработанная технология изоляции выработок угольных шахт от затопления за счет возможности регулирования дренирования подземных вод через водоспускные скважины исключает необходимость возведения дополнительного водосборника и уменьшает стоимость водоотлива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хямляйнен В.А. Возвведение противофильтрационных завес вокруг водоупорных перемычек / В.А.Хямляйнен, Г.С.Франкевич, Ю.В.Бурков, В.А.Жеребцов, Л.П.Понасенко, И.А.Поддубный // РАЕН, КузГТУ.- Кемерово, 2000.-119 с.
2. Хямляйнен В.А. Тампонаж неоднородных пород / РАЕН, КузГТУ.-Кемерово, 2002.- 128 с.
3. Хямляйнен В.А. Возведение тампонажно-дренажных завес / В.А.Хямляйнен, С.Л.Понасенко, И.А.Поддубный, Ю.В.Бурков, Г.С.Франкевич, Л.П.Понасенко, В.А.Жеребцов // РАЕН, КузГТУ.- Кемерово, 2003. -138 с.

□ Автор статьи:

Поддубный  
Иван Александрович  
– аспирант каф. теоретической и геотехнической механики