

УДК 622.257



Ю. А. ПОЛОЗОВ,
доктор техн. наук
(ГОО «Спецтампонажгеология»)



А. Ю. ЛАЗЕБНИК,
инж.
(ООО «Специализированное
предприятие по тампонажным
и геологоразведочным работам»)

Предупреждение и ликвидация осложнений при сооружении скважин большого диаметра

На конкретных примерах приведена научно обоснованная технология ликвидации осложнений и аварийных ситуаций при сооружении скважин большого диаметра, которая обеспечивает проектные сроки и стоимость сооружения объектов.

Ключевые слова: шахтный ствол, скважины большого диаметра, тампонаж.

Контактная информация: stgp_laz@mail.ru

тампонажа, получившего широкое распространение в горном деле;

на основе указанного метода выполнены инженерные расчеты параметров противодиффузионных завес и режимов нагнетания специальных высокоэффективных тампонажных растворов [1].

С учетом специфики сооружения шахтных стволов способом бурения и скважин большого диаметра тампонаж проникаемых горизонтов выполняют по одной из следующих технологических схем:

- предварительный тампонаж через инъекционные скважины, пробуренные с поверхности земли вокруг контура будущей скважины большого диаметра;
- предварительный тампонаж через инъекционные скважины, пробуренные из забоя скважины большого диаметра;
- последующий тампонаж через скважины, пробуренные с поверхности земли вокруг сооружаемой скважины большого диаметра, для предотвращения возникшего поглощения промывочной жидкости или повышенных водо-

притоков в действующие горные выработки.

Предварительный тампонаж вмещающих горных пород через скважины, пробуренные с поверхности земли. Это надежный и эффективный способ предупреждения осложнений, связанных с потерями промывочной жидкости во время бурения и повышенными остаточными водопритоками при креплении в процессе сооружения шахтных стволов (способ – бурение) и технических скважин большого диаметра.

Предварительный тампонаж с поверхности земли при сооружении скважин большого диаметра был успешно выполнен в Донецком угольном бассейне на таких сложных объектах, как скважина № 1 Ø1,2 м и глубиной 1000 м на шахте им. К. А. Румянцева и воздухоподающем стволе Ø2,3 м на поле шахты «Куйбышевская».

На шахте им. К. А. Румянцева скважина № 1, предназначенная для улучшения проветривания горных выработок, должна была пересечь старые очистные выработки по пласту l_6 на глубине 70,4–71,8 м, вышележащую толщину раз-

Основные проблемы, возникающие при сооружении шахтных стволов и скважин большого диаметра способом бурения:

- потери промывочной жидкости при пересечении скважиной трещиноватых и закарстованных горных пород, тектонических нарушений или старых горных выработок;
- высокие остаточные водопритоки в подземные горные выработки после крепления скважины обсадными трубами.

Для изоляции проникаемых горных пород в целях предупреждения или ликвидации указанных осложнений, возникающих при бурении скважин большого диаметра:

разработаны и применены на практике основные технические решения комплексного метода

уплотненных проницаемых пород и ряд трещиноватых водоносных горизонтов ниже пласта l_6 до глубины 637 м, что неизбежно привело бы к полной потере промывочной жидкости при бурении. В результате предварительного тампонажа проницаемых горизонтов и старых горных работ по пласту l_6 мощностью 1,4 м вокруг контура будущей скважины была сформирована изоляционная завеса с расчетными размерами, позволившая пробурить скважину без осложнений и надежно закрепить ее обсадными трубами. Общий объем тампонажного глиноцементного раствора для изоляции отработанного пространства по пласту l_6 и проницаемых горизонтов составил 15 тыс. м³, который закачали через три тампонажные скважины глубиной по 637 м.

Воздухоподающая скважина $\varnothing 2,3$ м на поле шахты «Куйбышевская» ГП «Донецк-уголь» при бурении на глубине 270,8 – 272 м должна была пересечь старые очистные выработки по пласту m_3 , что неминуемо вызвало бы полную потерю промывочной жидкости. В целях предупреждения аварийной ситуации запроектированы и выполнены тампонажные работы для ликвидации отработанного пространства пласта m_3 и изоляции проницаемых горизонтов выше этого пласта. Работы выполняли через шесть наклонно направленных скважин, пробуренных с поверхности земли. Через них закачали 16,6 тыс. м³ глиноцементного тампонажного раствора для создания вокруг контура будущей воздухоподающей скважины изоляционной завесы, способной выдержать гидростатический напор столба бурового раствора при бурении, что обеспечило безаварийную проходку скважины до проектной глубины, а также надежное крепление обсадными трубами.

Кроме того, рассмотрим опыт предварительного тампонажа с поверхности земли закарстованных известняков при бурении стволов большого диаметра ГОАО «Спецтампонажгеология» на железорудном месторождении Палазу-Маре в Румынии, вскрытие которого предусматривалось тремя вертикальными стволами проектной глубиной 650 м (РА-1) и 1050 м (РС-1 и РА-2) [3].

Для ствола РА-1 (рис. 1) необходимо было в интервале 0 – 250 м установить промежуточную обсадную колонну $\varnothing 5160$ мм

для перекрытия интенсивно закарстованного поглощающего горизонта 110 – 210 м. Ствол РА-1 проходили буровой установкой F-400 румынского производства. До глубины 45 м была пройдена форшахта $\varnothing 5,4$ м всвету. Затем из забоя форшахты с помощью установки F-400 пробурили по оси ствола опережающую разведочную скважину до глубины 140 м. Ее бурение с глубины 50 м велось с полным поглощением бурового раствора закарстованным горным массивом. В процессе бурения на глубине 110 – 115 м были вскрыты карстовые полости мощностью 3–3,5 м.

Результаты разведочного бурения показали, что проходка ствола РА-1 без предварительного выпол-

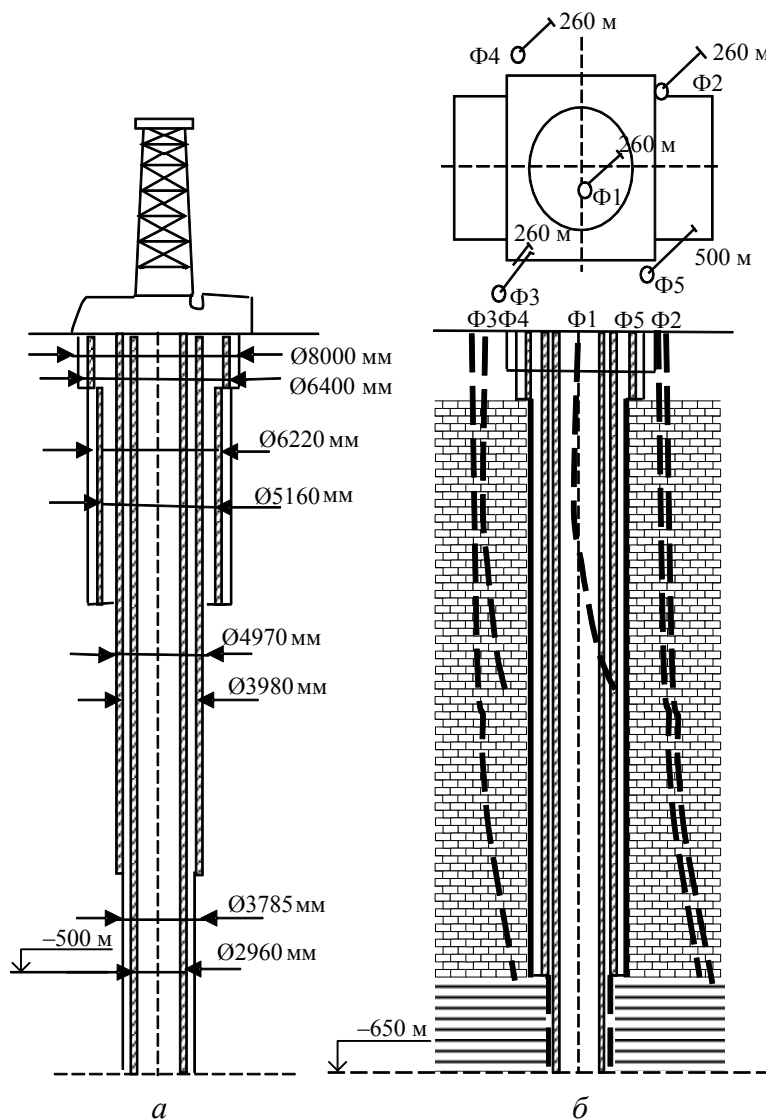


Рис. 1. Конструкция ствола РА-1 (а) и схема расположения наклонно направленных тампонажных скважин Ф1–Ф7 (б).

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Таблица 1

Интервал поглощающих горизонтов, м	Коэффициент проницаемости горных пород, $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$	Размер изоляционной завесы, м	Контур распространения раствора вокруг тампонажной скважины, м	Трещинная пустотность, %	Объем тампонажного раствора, нагнетаемого в отдельную скважину, м^3	Количество скважин	Общий объем тампонажного раствора, м^3
60–110	18,5	15,0	14	2,6	800	4	3200
110–145	18,5	15,0	14	2,6	560	4	2240
145–148	–	26,9	15	100	2120	4	8480
148–160	18,5	15,0	14	2,6	195	4	780
160–210	8,0	15,0	14	2,0	615	4	2460
210–260	8,0	15,0	14	2,0	615	3	1845
260–310	43,8	15,0	14	3,4	1050	3	3150
310–360	3,6	15,0	14	1,6	495	3	1485
360–410	24,3	15,0	14	2,8	865	3	2595
410–460	13,4	15,0	14	2,4	740	3	2220
460–500	1,2	15,0	14	1,0	250	3	750

нения специальных работ по водоизоляции и укреплению закарстованного массива невозможна. В связи с этим по проекту, разработанному ГОАО «Спецтампонажгеология» [2], выполнили предварительный тампонаж до глубины 500 м через скважины, пробуренные с поверхности земли.

Проект предусматривал выполнение тампонажных работ в два этапа (см. рис. 1): первый – тампонаж закарстованных пород до глубины 260 м, что позволило возобновить прохождение ствола; второй – тампонаж закарстованных пород в интервале 260 – 500 м параллельно с бурением ствола до глубины 260 м. Параметры проницаемых закарстованных горных пород в разрезе ствола РА-1 и проектные объемы буровых и тампонажных работ приведены в табл. 1.

Во время проведения тампонажных работ использовали глиноцементный раствор.

Тампонажные работы первого этапа осуществляли через четыре скважины глубиной 260 м каждая. Скважину № Ф1 пробурили из забоя форшахты ствола РА-1, а скважины № Ф2 и Ф4 – с поверхности зем-

ли. Частично для тампонажных работ первого этапа использовали скважину № Ф5. Скважину № Ф1 бурили установкой F-400, а скважины № Ф2 – Ф5 – самоходными буровыми установками типа 1БА-15А. Фактические объемы тампонажных работ и технологические параметры нагнетания тампонажного раствора приведены в табл. 2.

Всего для тампонажа на первом этапе израсходовано 29905 м^3 глиноцементного тампонажного раствора, приготовленного на базе глинопорошка месторождения «Меджидия».

В результате выполненных тампонажных работ на стволе РА-1 месторождения Палазу-Маре осуществлена проходка ствола до отметки 209 м без каких-либо осложнений. Тампонажные работы второго этапа не были завершены из-за сокращения государственных инвестиций, вскрытие месторождения законсервировано.

Последующий тампонаж водопроницаемых горизонтов через тампонажные скважины, пробуренные вокруг скважины большого диаметра из ее забоя. Его целесообразно проводить

Таблица 2

Интервал тампонируемых пород, м	Параметры нагнетания раствора в скважины									
	№ Ф1		№ Ф2		№ Ф3		№ Ф4		№ Ф5	
	Объем раствора, м^3	Давление нагнетания, МПа	Объем раствора, м^3	Давление нагнетания, МПа	Объем раствора, м^3	Давление нагнетания, МПа	Объем раствора, м^3	Давление нагнетания, МПа	Объем раствора, м^3	Давление нагнетания, МПа
60–77	936	5,5	304	7,0	278	8	365	7	–	–
77–110	1078	10,0	1132	6,5	1221	12	1296	11	–	–
114–145	1680	7,0	2112	12,0	1614	10	1748	12	–	–
145–165	510	10,0	643	10,0	635	10	480	10	370	4
165–210	185	8,0	2276	8,0	2398	7	2342	11	1091	7
210–260	185	8,0	1446	7,0	1765	10	1830	12	168	6

в случаях, когда по организационно-техническим причинам при сооружении скважин большого диаметра предварительный тампонаж проницаемых горизонтов не предусмотрен.

В качестве примера приводим опыт ликвидации катастрофического поглощения промывочной жидкости при бурении скважины $\varnothing 3,88$ м и глубиной 1000 м на поле шахты «Ясиновская-Глубокая» ГП «Макеевуголь» в целях вскрытия и подготовки точного блока шахты по угольным пластам l_6 и m_3 [2]. Скважина в соответствии с геологическим разрезом в интервале 607 – 648,6 м должна была пересечь интенсивно трещиноватый песчаник $L_7Sl_8^1$. Поглощение промывочной жидкости началось уже в кровле песчаника на глубине 607 м. На глубине 617 м наблюдалось ее полное поглощение, что сделало невозможным дальнейшее проведение буровых работ, т. е. потребовало принятия специальных мер. В связи с глубоким залеганием зоны интенсивно трещиноватых пород было решено выполнять их гидроизоляцию через тампонажные скважины, пробуренные из забоя скважины $\varnothing 3,82$ м, согласно технологической схеме (рис. 2).

Работы по созданию гидроизоляционной завесы вокруг вентиляционной скважины проводили в такой последовательности:

- на первом этапе в скважине большого диаметра на глубине 609,7 – 617 м уложили бетонную подушку. Выше в интервале 607 – 609,7 м соорудили песчано-цементную пробку, препятствующую выходу тампонажного раствора в ствол. С поверхности земли до глубины 605,7 м опустили три направляющих става металлических труб $\varnothing 168$ мм. В интервале глубин 604,5 – 607 м соорудили вторую песчано-цементную пробку. Через направляющие ставы пробурили скважины $\varnothing 132$ мм до глубины 611,5 м, закрепили обсадными трубами $\varnothing 108$ мм и зацементировали затрубное пространство;
- на втором этапе выполнили работы по созданию гидроизоляционной завесы вокруг вентиляционной скважины. Первоначально пробурили скважину № 2 $\varnothing 93$ мм до глубины 650,3 м. В скважине выполнили расходомертические и геофизические исследования, а также произвели нагнетание тампонажного раствора в объеме 1108 м³ (рабочее давление 20 МПа, остаточное – 3 МПа).

После окончания тампонажных работ в скважине № 2 пробурили скважину № 3 диаметром 93 мм до глубины 650,3 м и выполнили нагнетание в нее тампонажного раствора в объеме 1170 м³ (рабочее давление 18 МПа, остаточное – 2 МПа).

После завершения тампонажных работ в скважинах № 2 и 3 пробурили контрольную скважину № 1 глубиной 645,8 м. В процессе бурения поглощений промывочной жидкости не наблюдалось. После этого в скважину № 1 произвели контрольное нагнетание тампонажного раствора в объеме 122 м³ (рабочее давление 15 МПа, остаточное – 4,5 МПа).

Комплекс мероприятий по ликвидации катастрофических поглощений промывочной жидкости при бурении вентиляционной скважины на шахте «Ясиновская-Глубокая» в интервале залегания интенсивно трещиноватого песчаника $L_7Sl_8^1$ позволил возобновить проходку и пересечь скважиной данный интервал без осложнений.

Тампонаж через скважины, пробуренные с поверхности земли вокруг контура скважины большого диаметра. Такой тампонаж целесообразно выполнять в случаях, когда водопроницаемый горизонт (причина осложнений при бурении скважин большого диаметра) залегает на небольшой глубине.

Рассмотрим выполнение тампонажных работ для ликвидации остаточного притока воды в воз-

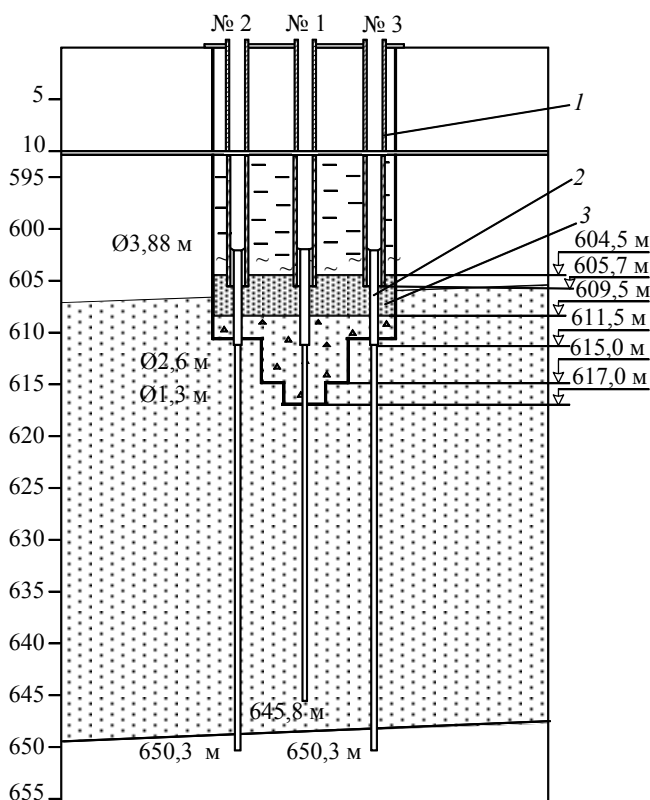


Рис. 2. Схема расположения тампонажных скважин № 1, 2 и 3 на вентиляционном стволе-скважине шахты «Ясиновская-Глубокая»: 1 – направляющая труба $\varnothing 168$ мм; 2 – обсадная труба $\varnothing 108$ мм; 3 – цементно-песчаная пробка.

духоподающую скважину, сооруженную на поле шахты «Южнодонбасская» № 1.

Воздухоподающую скважину Ø4,2 м всвету и глубиной 465,8 м на поле шахты «Южнодонбасская» № 1 закрепили металлическими трубами Ø4200 мм (толщина стенки 16 мм) с тампонажем затрубного пространства цементно-песчаным раствором. Трубы оснастили контрольными пробками Ø42 мм, расположенными ярусами через 6 м один от другого. В каждом ярусе было по четыре пробки.

В процессе откачки воды для осушения скважины и проверки состояния металлической крепи уровень жидкости в ней понизился до уровня забоя – 465,4 м. Приток воды в скважину составил 4 м³/ч, который постепенно начал увеличиваться через пробки на глубине 114 м и достиг максимума – 60 м³/ч. Через четверо суток водоприток на отметке 114 м прекратился, но открылся на глубине 156 м с выносом частиц разрушенной горной породы и достиг 80 м³/ч. На забое скважины осело около 100 м³ частиц разрушенной породы. Скважина была затоплена до уровня 17 м от поверхности земли, т. е. до естественного статического уровня.

Геологический разрез вмещающих горных пород и конструкция воздухоподающей скважины Ø4,2 м до глубины 170 м на поле шахты приведены на рис. 3. Анализ горно-геологических и горнотехнических причин возникновения осложнений и аварийной ситуации при сооружении воздухоподающей скважины показал следующее.

Высокая проницаемость толщи мергелей в интервале 59 – 126 м и залегающих ниже спонголитов обусловлена их сильной трещиноватостью и значительной пористостью. Это – причина нарушения целостности цементно-песчаного материала в закрепом пространстве основной рабочей колонны металлических труб Ø4,2 м.

Уменьшение по горнотехническим причинам глубины посадки кондукторной части обсадной колонны труб Ø5,6 м со 130 м до 100 м снизило надежность изоляции наиболее сложной и опасной нижней части толщи мергелей K_2 и цементации рабочей колонны труб Ø4,2 м.

Для предупреждения дальнейших осложнений, связанных с выносом частиц горной породы из затрубного пространства рабочей колонны диаметром 4,2 м и снижения притоков воды в скважину, были разработаны мероприятия, направленные на формирование противодиффузионной завесы вокруг скважины в нижней части толщи мергелей K_2 (интервал 100–130 м).

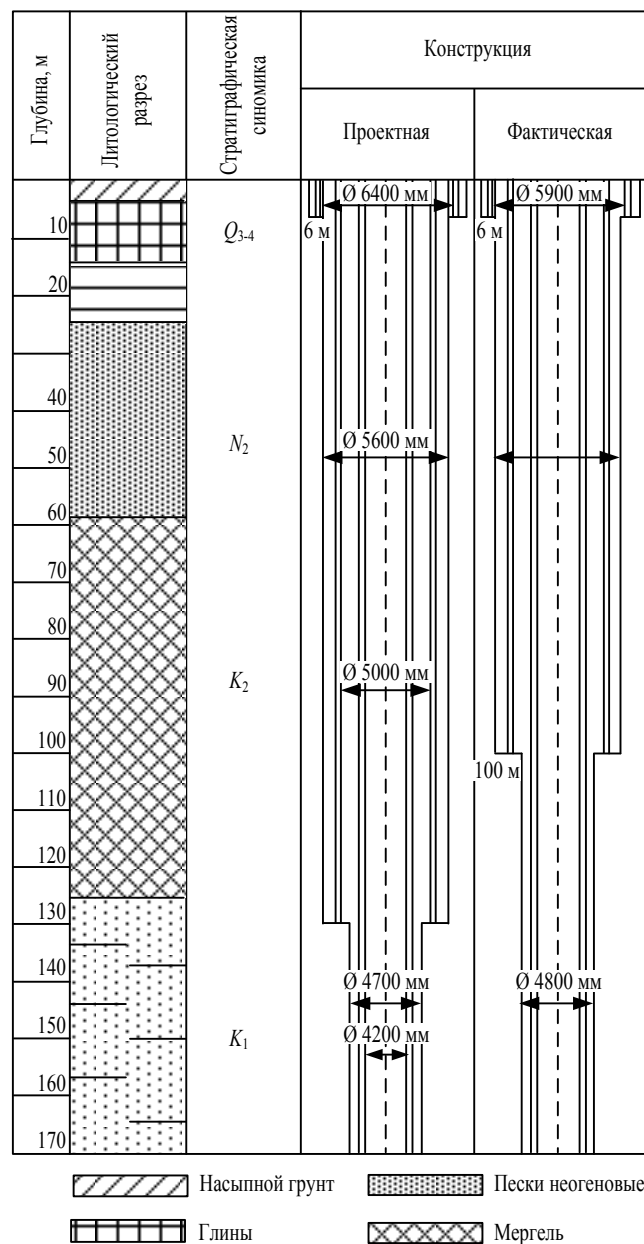


Рис. 3. Геологический разрез и конструкция воздухоподающей скважины на поле шахты «Южнодонбасская» № 1.

Завесу формировали через тампонажные скважины Ø92 мм и глубиной 130 м, которые располагались вокруг скважины Ø4,2 м с учетом контуров буровой установки L-35 (рис. 4). Радиус завесы, рассчитанной согласно исходным данным по методике комплексного метода тампонажа [1], составил 8,8 м. Размеры контуров распространения раствора из каждой скважины, принятые согласно графическим построениям, – 8,2 м. Проектный объем глиноце-

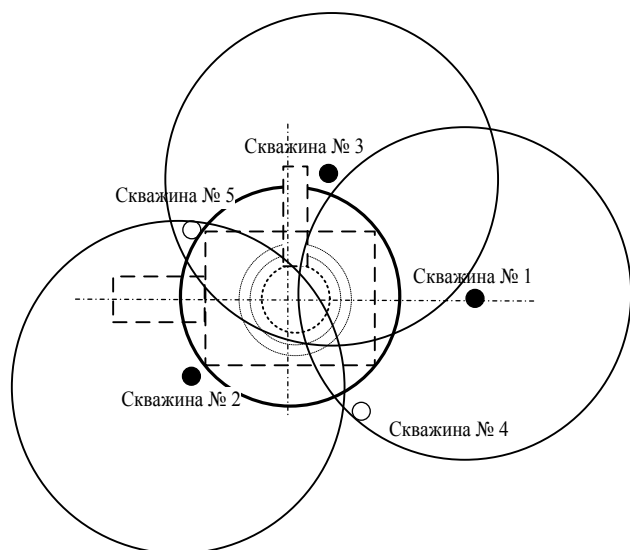


Рис. 4. Схема расположения тампонажных скважин вокруг воздухоподающей скважины $\varnothing 4,2$ м шахты «Южнодонбасская» № 1: ● тампонажные скважины первой очереди; ○ тампонажные (контрольные) скважины второй очереди; — — контур буровой установки L-35 и воздухоподающей скважины $\varnothing 4,2$ м; ————— расчетный контур противofильтрационной завесы вокруг скважины $\varnothing 4,2$ м; — радиусы распространения тампонажного раствора из отдельных скважин, м.

ментного раствора в каждую из тампонажных скважин для формирования изоляционной завесы составил $348,8 \text{ м}^3$, общий объем по трем тампонажным скважинам – $1045,1 \text{ м}^3$.

Комплекс тампонажных работ по формированию изоляционной завесы вокруг воздухоподающей скважины $\varnothing 4,2$ м выполнен ГХК «Спецшахтобурение» и ГОАО «Спецтампонажгеология». Фактический объем тампонажных работ составил 1014 м^3 (в скважину № 1 – 234 м^3 ; в скважину № 2 – 210 м^3 ; в скважину № 3 – 410 м^3 и в контрольные скважины № 4 – 100 м^3 и № 5 – 60 м^3).

Глиноцементный раствор (давление нагнетания 1 – $3,5 \text{ МПа}$) в каждую тампонажную скважину нагнетали порциями до выхода тампонажного раствора в соседнюю тампонажную скважину или в основную диаметром $4,2$ м. После выдержки тампонажную скважину разбуривали до забоя и повторяли нагнетать раствор.

В результате выполненных тампонажных работ вокруг воздухоподающей скважины была сформирована изоляционная завеса, позволившая исключить остаточный водоприток из трещиноватых мер-

гелей. По данным замеров, остаточный суммарный водоприток снижен с 80 до $2 \text{ м}^3/\text{ч}$, что значительно меньше допустимого по условиям шахтного водоотлива притока в шахту из воздухоподающей скважины.

Выводы. Предварительный тампонаж массива вмещающих горных пород при использовании основных положений комплексного метода тампонажа ГОАО «Спецтампонажгеология» в целях изоляции водоносных и укрепления неустойчивых, склонных к обрушению, горных пород в местах прохождения скважин большого диаметра позволяет гарантированно предупредить потери промывочной жидкости, а также обрушение стенок при бурении, тем самым избежать материальных затрат на ликвидацию осложнений при бурении и креплении, сократить сроки сооружения объекта.

В случаях возникновения осложнений, связанных с катастрофическими потерями промывочной жидкости или неустойчивостью стенок скважины при бурении, а также с повышенным водопритоком после крепления ее трубами, целесообразно и эффективно выполнить последующий тампонаж для формирования вокруг скважины изоляционной завесы, способной выдержать гидростатический напор подземных вод или столба бурового раствора [4]. При выборе способа тампонирования – через скважины, пробуренные из забоя, или с поверхности земли вокруг скважины большого диаметра – необходимо учитывать горно-геологические условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тампонаж обводненных горных пород: справ. пособие / [Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов, О. Ю. Лушникова и др.]. – М.: Недра, 1989. – 318 с.
2. Полозов Ю. А. Тампонаж трещиноватой зоны в интервале $609,5 - 648,6$ м при проходке вентиляционного ствола-скважины шахты «Ясиновская-Глубокая» ГП «Макеев-уголь» / Ю. А. Полозов, А. Ю. Лазебник, С. В. Пожидаев // Форум горняков-2009: материалы международ. конф. – Донецк: НГУ, 2009. – С. 110 – 113.
3. Grouting of Karstifield Aquifers Duriny Shaft Drilling at Palazu – Mare Iron Ore / Deposit by E. Ya. Kipko, Yu. A. Polozov, Yu. N. Spichak, V. A. Donchenko // 4th International Miniral Water Association Congress. – Ljubljana (Sloveniya), Pertschach (Austria), september, 1991. – С. 95 – 101.
4. Полозов Ю. А. Ликвидация аварийных водоприток в горные выработки через технические скважины / Ю. А. Полозов, А. Ю. Лазебник // Уголь Украины. – № 6. – 2013. – С. 26 – 29.