

Библиографический список

1. Балицкий П.В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. — М.: Недра, 1975. — 294 с.
2. Керимов З.Г. Динамические гасители бурильной колонны. — М.: Недра, 1970. — 175 с.
3. Симонов В.В., Юнин В.К. Влияние колебательных процессов на работу бурильного инструмента. — М.: Недра, 1977. — 217 с.
4. Султанов Б.З. Управление устойчивостью и динамикой бурильной колонны. — М.: Недра, 1991. — 208 с.
5. Султанов Б.З., Габдрахимов М.С., Сафиуллин Р.Р., Галеев А.С. Техника управления динамикой бурильного инструмента при проводке глубоких скважин. — М.: Недра, 1997. — 165 с.
6. Эйгелес Р.М., Стрекалова Р.В. Расчет и оптимизация процесса бурения скважин. — М.: Недра, 1977. — 215 с.

© Каракозов А.А., Угнивенко В.В., 2002

УДК 622.273

ЯРЕМБАШ И.Ф., ВОРХЛИК И.Г., МОРОЗ В.Д. (ДонНТУ), ЯРЕМБАШ А.И. (ДонГАУ)

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗРУШЕНИЙ УСТЬЕВ ПОГАШЕННЫХ СТВОЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Разрушения устьев погашенных стволов угольных шахт во всех случаях сопровождаются провалами земной поверхности, вызывающими экологические бедствия и даже катастрофы.

Это, в большинстве своем, является результатом нарушений равновесия как всей геомеханической системы «ликвидированный ствол», так и ее отдельных элементов, прежде всего, собственно устья ствола.

В свою очередь стабильное состояние устья ликвидированного ствола, а следовательно и устойчивость поверхности вблизи него, определяется рядом природных факторов и принятых инженерных решений, в их числе: мощностью наносов, их физико-механическими свойствами, гидрогеологией в районе ствола; устойчивостью крепи, видом закладки и полнотой заполнения ею устья ствола, а также местоположением, качеством перекрытий стволов и др.

Опыт ликвидации вертикальных стволов свидетельствует, что большинство из названных факторов и степень их влияния поддаются регулированию, а инженерные решения могут максимально учитывать конкретные условия, обеспечивая при этом применение наиболее целесообразных из возможных решений.

Однако, результирующей причиной, происходящих аварий в районе устьев стволов, является потеря несущей способности их крепи. Это случается, прежде всего, под влиянием горного давления окружающих устья наносных пород, в условиях отсутствия закладки, чрезмерной ее усадки или утечки. Подобные аварии могут произойти и в том случае, когда ствол перекрыт на уровне слабых, обводненных коренных пород, а ниже полка перекрытия ствол не засыпан закладочным материалом (рис.1).

Величина давления на крепь зависит от мощности наносов, объемного веса пород, угла внутреннего трения, сил сцепления, угла сдвига, что во многом определяется обводненностью окружающих ствол пород.

Следует иметь в виду, что на крепь ствола в этих условиях оказывают одновременное влияние геостатическое и гидростатическое давления, величины которых возрастают с увеличением мощности наносов.

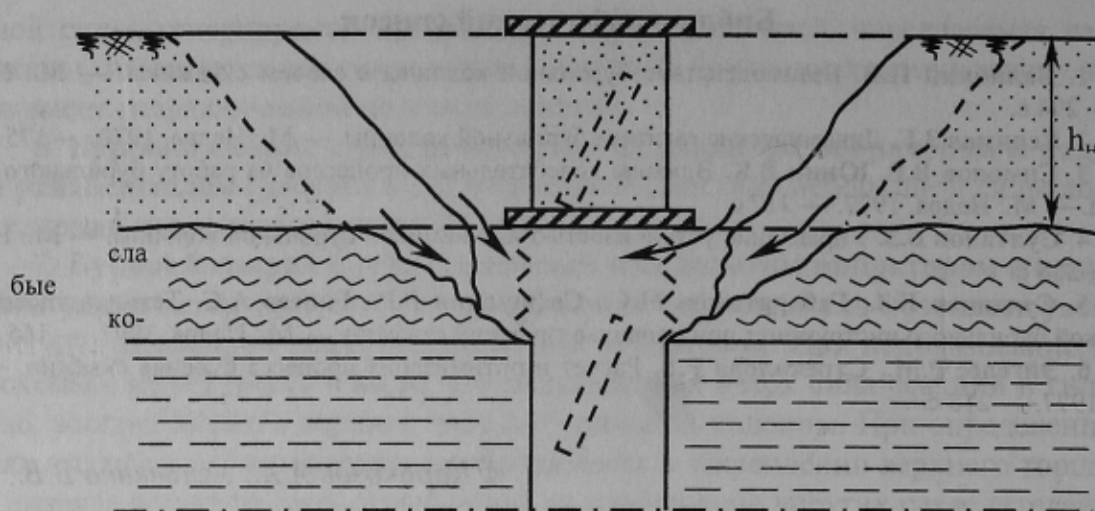


Рис.1. Разрушение устья вертикального ствола при наличии неустойчивого слоя коренных пород

Уравнения, описывающие суммарное давление на крепь устья ствола по высоте наносов, можно представить в виде:

$$\sum P = h_n (P_1 + P_2) \cdot K, \quad (1)$$

где h_n — высота наносов, м; P_1 — геостатическая удельная сила тяжести, кН/м^3 ; P_2 — гидростатическая удельная сила тяжести, кН/м^3 ; K — составляющая роста бокового давления пород наносов на крепь ствола.

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= (\bar{\gamma}_n - \gamma_{n_2o}) \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\bar{\varphi}}{2} \right), \\ P_2 &= \gamma_{n_2o}, \\ K &= 1 - \exp \left(-\lambda \frac{h_n}{R} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $\bar{\gamma}_n$ и γ_{n_2o} — средний приведенный вес пород наносов и воды соответственно, кН/м^3 ; $\bar{\varphi}$ — средневзвешенное значение угла естественного откоса (сползания) пород, град; λ — коэффициент бокового давления пород наносов.

$$\lambda = \frac{\nu}{1 - \nu},$$

где ν — коэффициент Пуассона; R — гидравлический радиус ствола, м.

$$R = \frac{\pi D_c^2}{4\pi D_c} = \frac{D_c}{4}, \quad (3)$$

где D_c — внешний диаметр ствола, м.

В качестве примера на рис.2 представлена зависимость $\sum P = f(h)$. Исходные данные: $h_{max} = 18$ м; породы наносов обводнены; $\bar{\gamma}_n = 20$ кН/м^3 ; $D_c = 6$ м.

Как видно из графика 3 на определенной глубине (в нашем случае 12...15 м) происходит стабилизация давления на крепь ствола. Эта закономерность подтверждается модельными исследованиями проф. В.Г.Березанцева [1].

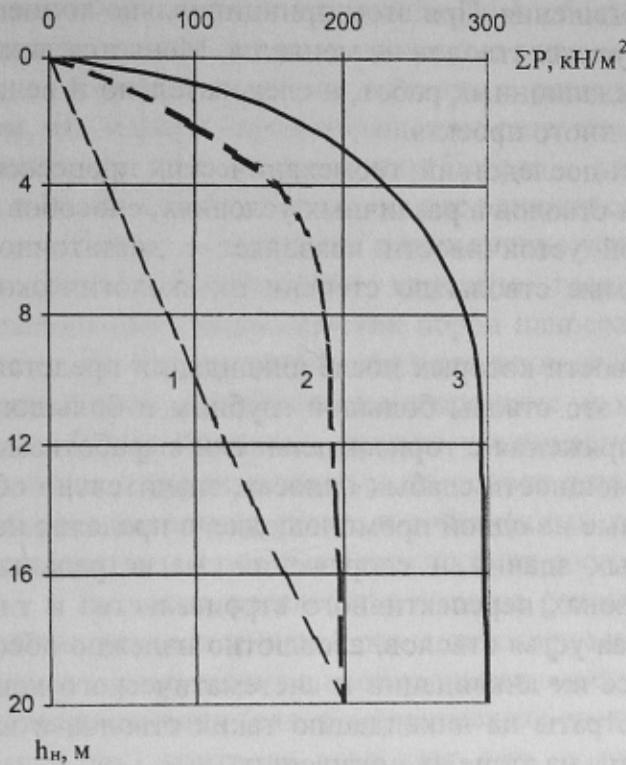


Рис.2. Изменение давления на крепь устья вертикального ствола: 1 — гидростатическое давление; 2 — давление водонасыщенных наносных пород; 3 — суммарное давление на крепь ствола

воды, а также вод, содержащих углекислый газ и сульфаты. Опасны и ливневые воды, карбонизация, химическая агрессия, воздействие знакопеременных температур, кавитация. Участки разрушенного бетона, как правило, расположены вблизи водоносных горизонтов.

Количественный учет влияния каждого из названных факторов на долговечность крепи устья ствола, а тем более в их совокупности, представляет чрезвычайно сложную задачу. Во-первых, необходимы объективные и полные исходные данные по вышеперечисленным влияющим факторам. А, во-вторых, долговечность крепи, устойчивость устья ствола предопределяется и степенью обоснованности выбранной технологической схемы его ликвидации.

Единой однозначно надежной технологической схемы, обеспечивающей долговременную устойчивость ствола в различных условиях, не существует, а используемые на практике схемы — существенно разнятся и по сложности, и по производимым затратам.

В связи с этим, с практической точки зрения, представляется целесообразным ликвидировать вертикальные стволы, их устья разделить на категории по степени экологической опасности в постликвидационный период, а выбор способов и средств предотвращения разрушений устьев погашенных стволов рассматривать, во-

Однако это не означает, что с увеличением мощности наносов (в данном случае более 12...15 м) наступают постоянные и относительно благоприятные условия сохранности крепи устья ствола.

Надо иметь ввиду, что разрушение крепи ствола наступает (происходит) не только под действием сил давления окружающих пород. Как свидетельствуют исследования, натурные наблюдения и опыт [2] на долговечность крепи стволов большое влияние оказывают внутренние физико-механические процессы, происходящие в материале крепи под воздействием агрессивной внешней и внутренней среды. Происходит механический износ от стекающей по поверхности бетонной крепи воды, усталостный износ бетона, износ под воздействием коррозии, колебания температур. Деструкция бетона зависит также от его пористости, которая приводит к инфильтрации воды. Образование дефектов ускоряется присутствием чистой

первых, с учетом основных влияющих факторов (пусть даже их качественных сторон и характеристик), а, во-вторых, комплексно.

Такой подход позволит конкретизировать инженерные решения в каждой отдельной геомеханической ситуации, а отнесение ствола к определенной категории по степени экологической опасности в свою очередь предопределяет выбор соответствующей технологической схемы его погашения. При этом принципиально концепция обеспечения безопасности ликвидируемых стволов не меняется. Меняется лишь общая оценка объекта, технология ликвидационных работ, а следовательно и величина затрат в связи с принятием того или иного проекта.

Анализ произошедших аварий и их последствий, геомеханических процессов, протекающих в районе ликвидированных стволов в различных условиях, способов и средств обеспечения их долговременной устойчивости позволяет с достаточной обоснованностью разделить ликвидируемые стволы по степени их экологической опасности на три категории.

Первая — стволы, потеря устойчивости которых после ликвидации представляет особую опасность. В общем случае это стволы большой глубины и большого диаметра, имеющие многочисленные сопряжения с горизонтальными выработками, устья которых расположены в большой мощности слабых наносах, значительно обводненных, а также стволы, расположенные на одной промплощадке, в пределах населенных пунктов, вблизи ответственных зданий и сооружений, магистральных коммуникаций, природных объектов, в зонах перспективного строительства и т.п. Их долговременная устойчивость, включая устья стволов, абсолютно надежно обеспечивается мерами в период и в процессе их ликвидации и систематического контроля в постликвидационный период. Затраты на ликвидацию таких стволов и их устьев единовременны и не ограничиваются на этапе их погашения.

Ко второй категории следует относить стволы сравнительно небольшой глубины и небольшого диаметра, как правило, в условиях одnogоризонтной схемы вскрытия, находящиеся в черте населенных пунктов, но на безопасном расстоянии от важных коммуникаций, устья которых расположены в сравнительно маломощных и слабо обводненных породах. Их долговременная устойчивость обеспечивается мерами в процессе их ликвидации, контролем и дополнительными технико-технологическими средствами в постликвидационный период.

В третью категорию входят стволы небольшой глубины, шурфы, расположенные в небольшой мощности наносах, вне населенных пунктов, вдали от коммуникаций, в условиях, позволяющих осуществить их надежное ограждение, установку опознавательных и предупредительных знаков, а при необходимости и охрану. Речь идет о стволах, потеря устойчивости которых не создает опасности, а последствия возможных обрушений поверхности в местах их расположения технологически легко устранимы.

Отнесение стволов к той или иной категории — задача социально-экологическая и технико-экономическая. При этом следует пользоваться двумя основными критериями. Первый и основной для стволов всех категорий — безопасность. Второй важный для стволов второй и третьей категории — экономичность.

Говоря о подлежащих учету основных влияющих факторах на устойчивость устьев стволов, следует подчеркнуть что их нестабильные, взаимозависимые и труднопрогнозируемые характеристики колеблются в широком диапазоне [3]. В пределах угольного Донбасса высота наносов достигает 60 м, но примерно в половине случаев она не превышает 15 м. Наносные породы как правило конгломераты с переменным содержанием гравийно-песчано-глинистых компонентов в самой различной пропорции. Свойства таких пород характеризуются достаточной водопроницаемостью (ко-

эффицент фильтрации в пределах $0,3 \dots 0,6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$), с пористостью до 60%, коэффициентом внутреннего трения $0,2 \dots 0,7$, с незначительным коэффициентом сцепления ($0,1 \dots 0,5$) $\cdot 10^{-3}$ МПа, модулем деформации $5 \dots 50$ МПа и коэффициентом Пуассона $0,25 \dots 0,40$.

Подстилающие коренные породы карбона примерно в 25% случаев представлены небольшими по мощности (до $4 \dots 6$ м) слоями слабых осадочных материалов, с незначительной сопротивляемостью сжатию, способных к размоканию и набуханию.

Комплексность же подхода к решению поставленной задачи заключается в том, что меры по предотвращению разрушений устьев погашенных стволов рассматриваются в двух направлениях. Первое — уменьшение давления на крепь устья ствола и снижение негативного на нее влияния со стороны окружающей среды.

Второе — усиление и повышение устойчивости собственно крепи устья ствола. Первое направление нацелено главным образом на улучшение физико-механических характеристик пород наносов путем их упрочнения и осушения, второе — на осуществление технико-технологических мер по усилению устойчивости крепи в период подготовки и в процессе производства ликвидационных работ.

В общем случае меры по увеличению долговечности крепи должны разрабатываться и реализовываться на основе детального изучения конкретных условий, в которых находится ствол, и собственных характеристик его крепи. Последнее осуществляется посредством диагностики состояния ствола.

Трещины, расслоения, вывалы, раковины, солевые наслоения, ржавые пятна и полосы, установленные в результате визуального осмотра, свидетельствуют о начале процесса разрушения и необходимости проведения ремонтных работ. Использование не разрушающих (склерометрических) средств и методов (в частности ультразвуковых и др.) контроля позволяет дать количественную оценку свойств материала. Прочностные показатели, модуль упругости, водопроницаемость и др. устанавливаются путем извлечения кернов, а участки крепи, в которых предполагаются повреждения, проверяются с помощью ультразвука, путем просвечивания гамма лучами или высверливанием образцов.

В различных условиях, с учетом степени негативного влияния конкретных факторов, увеличение долговечности крепи и устойчивости устьев стволов может быть достигнуто за счет применения тех или иных мер. В частности, это может быть увеличение структурной плотности бетона, его водонепроницаемости, нанесение на поверхность крепи защитных покрытий, усиление участков крепи вблизи водоносных горизонтов (покрытие слоем железобетона, анкерование; покрытие слоем битуминозного материала или пластика; применение лакокрасочных покрытий; многослойных покрытий эпоксидными смолами, анкерованных стеклотканью; тампонаж закрепного пространства). В определенных условиях эффективным может оказаться применение гидротехнического морозостойкого цементного бетона, высококачественного армированного торкретбетона (плотный, водонепроницаемый и весьма устойчивый к агрессивным воздействиям материал), а также сульфатостойкого портландцемента для предотвращения разрушения бетона растворами сульфатов и глиноземного цемента — при наличии кислот.

Целесообразно полное прекращение аэродинамических связей с действующими горными выработками, полная изоляция, исключение движения воздушного потока, в том числе через вентиляционные и другие каналы. Следует исключить чередование обмерзания и оттаивания бетона путем, например, создания специальной теплоизоляционной рубашки. На участках же промерзания рационально применение бетона с воздухововлекающими добавками, которые хорошо сопротивляются воздействиям солей.

Во всех случаях особое внимание следует уделять выбору местоположения и параметров полков перекрытия стволов, расчету их на прочность, жесткость и устойчивость.

На основании всего вышеизложенного, с учетом опыта ликвидации стволов в Англии, Германии, Чехии, Польше, других странах [4], разработаны и представлены на рис.3 варианты технологических схем, обеспечивающие устойчивое состояние устьев погашенных стволов первой и второй категории по степени экологической безопасности. Возможные провалы земной поверхности в районе стволов третьей категории устраняются, как было сказано ранее, путем их засыпки рядовым закладочным материалом.

В основу при разработке вариантов технологических схем положена мощность наносов (до 15 м — рис. 3 а-в и более 15 м — рис. 3 г, д), так как она, главным образом, предопределяет величину давления на крепь, размер диаметра опасной зоны сдвижения поверхности и глубину кратера.

В свою очередь наносы характеризуются прежде всего углом сдвижения (обрушения) — φ , а устойчивость крепи устья ствола, при прочих равных условиях, зависит от вида закладки и качества закладочного материала: сухая закладка с инъецированием вяжущих (СЗИ), твердеющая закладка (ТЗ) или сухая сыпучая закладка (СЗ). Последняя приемлема при достаточно устойчивых верхних слоях коренных пород и отсутствии утечек закладки в сопрягающиеся со стволом выработки.

При слабых породах наносов, небольшой мощности ($h_n \leq 15\text{ м}$), в условиях их значительного обводнения, когда $\varphi < 35^\circ$ и при достаточно крепких верхних слоях коренных пород следует рекомендовать заполнение устья ствола твердеющими материалами (ТЗ) с расходом вяжущих до 3 м^3 на 1 м мощности наносов. Ниже полка перекрытия в этом случае возможно использовать сухой закладочный материал с инъецированием недорогих вяжущих (СЗИ) (рис.3, а). Диаметр плиты перекрытия устья ствола при всех вариантах технологических схем целесообразно принимать не менее $2D_c$. Это позволит предупредить ее перекося еще на первоначальной стадии возможного сдвижения поверхности.

В подобных же условиях, но когда наносы подвержены сезонному обводнению, необходимо, прежде всего, осуществить упрочнение наносных пород путем инъецирования их через скважины (ИС), пробуренные вертикально или под углом φ (рис.3, б). Скважины при этом заполняются сухим инъецирующим вяжущим материалом. Количество рядов скважин и их глубина принимается в соответствии с прогнозными параметрами возможных сдвижений земной поверхности.

В условиях, когда $h_n \leq 15\text{ м}$, наносы слабо обводнены или при наличии водоотводящих каналов вокруг устья ствола, при $\varphi > 35^\circ$ и устойчивых коренных породах, подстилающих наносы, оптимальным вариантом обеспечения экологической безопасности в районе ликвидированного ствола следует считать устройство сооружения «стена в грунте» диаметром не менее $2D_c$ (рис.3, в), закладку устья ствола сухим материалом с последующим инъецированием вяжущими. С внешней стороны «стены в грунте» в пределах опасной зоны сдвижения поверхности целесообразна высадка растений, например, некоторых видов акаций, имеющих глубокие корни.

Наибольшую сложность в обеспечении устойчивости представляют устья погашенных стволов, расположенных в большой мощности ($h_n > 15\text{ м}$) слабых обводненных наносах.

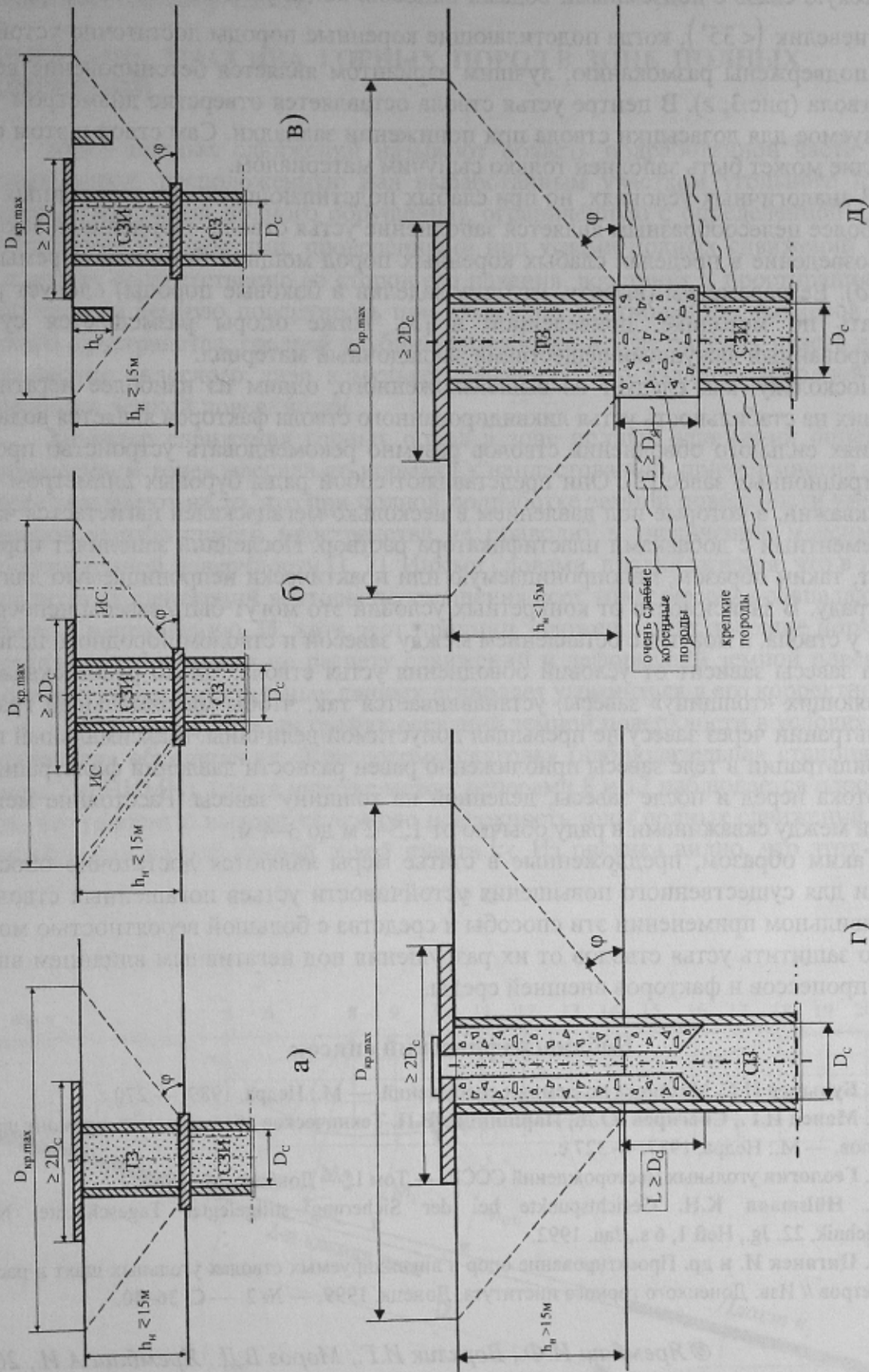


Рис.3. Варианты технологических схем погашения устьев вертикальных стволов

В условиях слабых, подверженных сезонному обводнению и имеющих гидравлическую связь с подземными водами наносов, когда угол сдвижения φ сравнительно невелик ($< 35^\circ$), когда подстилающие коренные породы достаточно устойчивы, не подвержены размоканию, лучшим вариантом является бетонирование всего устья ствола (рис.3, з). В центре устья ствола оставляется отверстие диаметром 1 м, используемое для дозасыпки ствола при понижении закладки. Сам ствол в этом случае вполне может быть заполнен только сыпучим материалом.

В аналогичных условиях, но при слабых подстилающих наносы коренных породах, более целесообразным является заполнение устья ствола твердеющей закладкой и возведение в пределах слабых коренных пород мощной бетонной перемычки (рис.3, д). Ее параметры (высоту, глубину заделки в боковые породы) следует рассчитывать по методике, приведенной в [5]. Ниже опоры размещается сухой инъецированный вяжущими веществами закладочный материал.

Поскольку, как следует из вышеизложенного, одним из наиболее негативно влияющих на стабильность устья ликвидированного ствола факторов является вода, то в условиях сильного обводнения стволов разумно рекомендовать устройство противофильтрационных завес [2]. Они представляют собой ряды буровых диаметром 45–76 мм скважин, в которые под давлением в несколько мегапаскалей нагнетается чаще всего цементный с добавками пластификатора раствор. Последний заполняет поры и образует, таким образом, малопроницаемую или практически непроницаемую для воды преграду. В зависимости от конкретных условий это могут быть завесы непосредственно у ствола, а могут и с оставлением между завесой и стволом породного целика. Глубина завесы зависит от условий обводнения устья ствола. Число рядов скважин, определяющих «толщину» завесы, устанавливается так, чтобы максимальный градиент фильтрации через завесу не превышал допустимой величины. Максимальный градиент фильтрации в теле завесы приближенно равен разности давлений фильтрационного потока перед и после завесы, деленной на толщину завесы. Расстояние между рядами и между скважинами в ряду обычно от 1,5–2 м до 3–4 м.

Таким образом, предложенные в статье меры являются достаточно обоснованными для существенного повышения устойчивости устьев погашенных стволов. При правильном применении эти способы и средства с большой вероятностью могут надежно защитить устья стволов от их разрушения под негативным влиянием внутренних процессов и факторов внешней среды.

Библиографический список

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. — М.: Недра, 1989. — 270 с.
2. Манец И.Г., Снегирев Ю.Д., Паршинцев В.П. Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов. — М.: Недра, 1987. — 327 с.
3. Геология угольных месторождений СССР. — Том I. — Донбасс, М., 1962.
4. Hülsmann К.Н. Gesichtspunkte bei der Sicherung stillgelegter Tageschächte. Neue Bergbautechnik, 22. Jg., Heft 1, 6 s., Jan. 1992.
5. Циганек И. и др. Проектирование опор в ликвидируемых стволах угольных шахт и расчет их параметров // Изв. Донецкого горного института, Донецк, 1999. — № 2. — С. 36–40.

© Ярембаш И.Ф., Ворхлик И.Г., Мороз В.Д., Ярембаш А.И., 2002