

Исследование деформирования околоствольного массива горных пород



И. А. КОЛДУНОВ,
канд. техн. наук
(УкрНИМИ НАН Украины)

В результате обследования состояния глубоких стволов и их сопряжений с околоствольными выработками было установлено, что на большей их части наблюдались повреждения крепи и армировки. Основные причины возникновения повреждений – воздействие на стволы очистных и околоствольных выработок. Наиболее высокий уровень нарушенности стволов приходится на предприятия со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями, наименее нарушенные стволы расположены в антрацитовых районах. Сопряжения шахтных стволов с горизонтальными выработками – наиболее чувствительные участки стволов в отношении повреждений крепи и армировки. Установлены причины нарушений сопряжений, а также определена значимость отдельных видов факторов в общем процессе возникновения повреждений.

Ключевые слова: обследование состояния глубоких стволов и их сопряжений с околоствольными выработками, причины повреждений крепи и армировки, исследование деформирования околоствольного массива горных пород.

Контактная информация: k.io@mail.ru

В современных условиях ведения горных работ на глубоких горизонтах все более актуальны вопросы охраны и поддержания вертикальных шахтных стволов, прежде всего от влияния очистных выработок. Исследования [1–3] показали, что с увеличением глубины ведения горных работ возрастает роль влияния опорного давления от очистных выработок, оконтуривающих предохранительный целик. При этом накладываются зоны опорного давления от лав и ствол оказывается в зоне повышенных деформаций сжатия, что приводит к повреждениям крепи и армировки стволов, преимущественно в районах сопряжений стволов с околоствольными выработками. Кроме того, ухудшились условия поддержания вертикальных шахтных стволов на больших глубинах вследствие повышения напряженного состояния околоствольного массива пород.

В целях разработки научных основ создания способов и средств обеспечения надежной эксплуатации шахтных стволов авторы проводили систематические исследования условий их охраны и поддержания. На начальном этапе по апробированной методике обследовалось состояние глубоких вертикальных стволов для выявления причин повреждений крепи и армировки, чтобы установить зависимости состояния стволов от горно-геологических, геомеханических и горнотехнических (технологических) условий охраны и поддержания. При этом решались следующие задачи (табл. 1):

- установление уровня нарушенности стволов;
- выявление характера повреждения крепи и армировки;
- определение горно-геологических и геомеханических условий

охраны и поддержания стволов и их сопряжений с околоствольными выработками;

определение технологии проведения ствола и возведения крепи, конструктивных особенностей крепи и армировки.

Характеристики повреждений крепи и армировки шахтных стволов показаны на рис. 1, причины повреждений приведены в табл. 2, оценка их состояния – в табл. 3.

С целью однозначной трактовки различными исследователями вида и параметров повреждений крепи и армировки стволов при оценке их состояния приведены классификация повреждений (см. рис. 1) и следующие определения терминов.

Трещина – нарушение сплошности крепи, в котором один из размеров (длина) намного превышает два других: глубину и ширину (раскрытие). Смещение противоположных стенок одна относительно другой в трещинах отсутствует или незначительно.

В количественном отношении степень нарушенности участков крепи с трещинообразованием характеризуется параметрами трещин: длиной, шириной (раскрытием),

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Таблица 1

Вид и содержание работ	Результаты обследования
Установление состояния крепи, характера повреждений	
<p>Определение: монолитности крепи (при простукивании расслоившаяся крепь издает глухой звук, ненарушенная – звонкий); толщины крепи, наличия арматуры, соответствия схемы ее расположения проектной – в местах обнажения пород; вида и параметров повреждений, их интенсивности; признаков нарушения технологии проведения, крепления и поддержания стволов, неудовлетворительного качества крепи (технологические разрывы между заходками, натеки, выщелачивание бетона, наличие корродировавшего бетона, отсутствие цемента для связи штучных элементов крепи, следы обмерзания, мест поступления воды в ствол; участков ранее отремонтированной крепи, их состояние)</p>	<p>Расчеты; данные измерений; развертки ствола с нанесением повреждений крепи и их параметров; размеры нарушенных участков, их ориентировка относительно площади сечения ствола и элементов залегания пород; необходимые разрезы, сечения и эскизы</p>
Установление состояния армировки, характер повреждений	
<p>Определение: фактической схемы и конструкции армировки; деформаций расстрелов и проводников, их износа; влияния коррозии</p>	<p>Описания, эскизы</p>
Определение условий охраны и поддержания стволов	
<p>Изучение геолого-маркшейдерской и технической документации (геологического и гидрогеологического разрезов по стволу со сведениями о физико-механических свойствах пород, геологических нарушениях; планов горных выработок по шахте; журнала проходки; журналов профилировки стенок ствола и проводников; паспорта ствола; материалов по оседаниям устьев стволов, состоянию крепи и армировки и др.)</p>	<p>Заключение об условиях охраны и поддержания ствола, где отражены: причины повреждений крепи и армировки; прогноз влияния условий охраны и поддержания ствола на его состояние в предстоящий период; необходимость выполнения работ по ремонту (усилению) крепи и армировки</p>
Установление причин повреждений крепи и армировки, оценка их состояния	
<p>Анализ результатов обследования и других осмотров, установление причин повреждений крепи и армировки, оценка их состояния</p>	<p>Причины повреждений, оценка состояния</p>

глубиной. Чтобы выявить причины образования, необходимо фиксировать ориентировку трещин относительно горизонта и элементов залегания пород, а также деформирование краев. Так, вследствие сжатия у них по краям появляются следы скалывания, а от разрыва – рваные края.

Степень нарушенности участка крепи с трещинами определяется удельной трещиноватостью – суммарной длиной трещин на единицу площади (1 м^2) участков крепи, средним расстоянием между трещинами, показателем просветности, средним зиянием трещин. Трещины с раскрытием до 1–2 мм называются волосяными или микротрещинами.

Закол – трещина в крепи ствола (как правило, бóльшей интенсивности по сравнению с обычной) со смещением противоположных стенок одна относительно другой (см. рис. 1). Интенсивность как единичных заколов, так и их систем определяется теми же значениями параметров и показателей, что и трещины.

Повреждения внутренней поверхности крепи ствола в виде шелушения, скалывания и отслоения бетона (линзы, «тарелки», «коржи») проявляются на локальных участках площадью до $0,3\text{--}0,4 \text{ м}^2$ и на глубину, не превышающую 15 % толщины крепи, под влиянием повышенных напряжений в крепи или неблагоприятной среды (агрессивное воздействие воды, обмерзание и др.). Интенсивность повреждений характеризуется их параметрами (линейные размеры, глубина) и удельным показателем нарушенности – отношением площади нарушенной крепи к ее общей площади.

Повреждения крепи от выщелачивания бетона разнообразны (раковины, каверны и т. д.); их интенсивность характеризуется тем же относительным показателем, что и шелушение, скалывание и т. д.

Вывал крепи (в отдельных случаях – крепи и пород), в отличие от шелушения и сколов, проявляется на бóльшей площади и на бóльшую глубину – свыше 15 % толщины крепи.

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

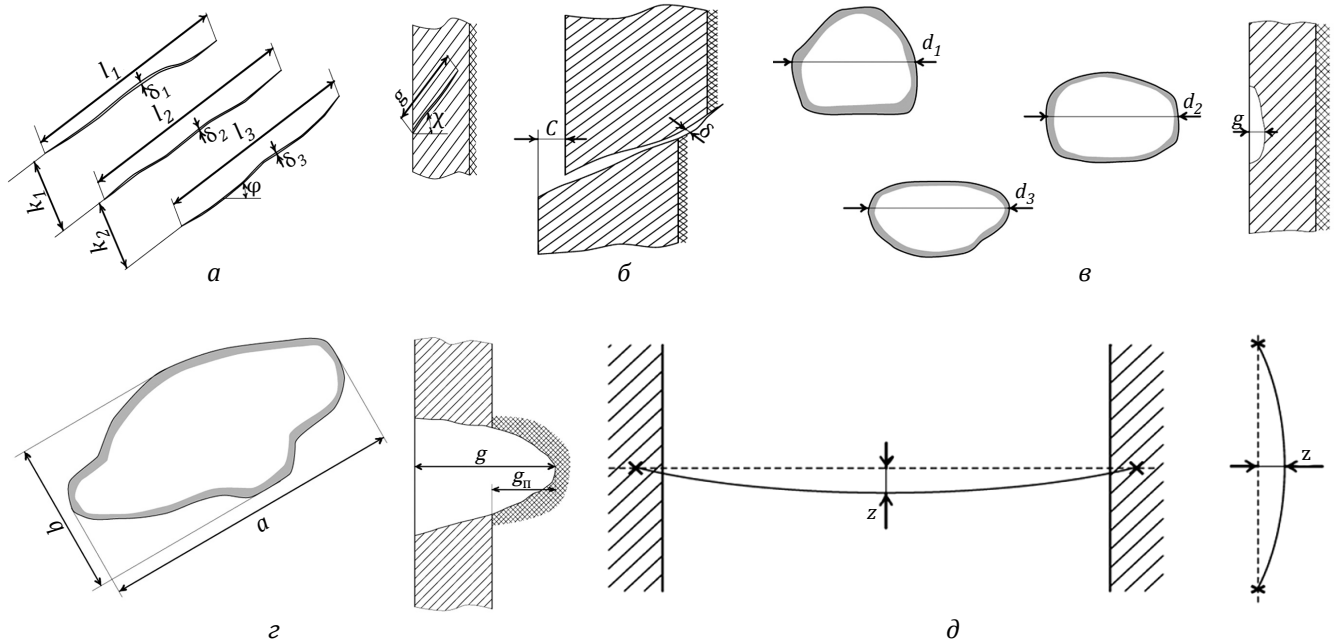


Рис. 1. Характеристики повреждений крепи и армировки шахтных стволов: *a* – трещина; *б* – закол; *в* – шелушение и сколы на поверхности; *г* – вывал; *д* – изгиб проводников и расстрелов; l_1, l_2, l_3 – длина; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – раскрытие; φ и χ – угол наклона к горизонту в плане и на вертикальном разрезе; k_1 и k_2 – расстояние между трещинами; C – смещение противоположных стенок одна относительно другой; d_1, d_2, d_3 – линейные размеры повреждений; a и b – линейные размеры; g – глубина; $g_{п}$ – глубина в породах; z – стрела прогиба.

Таблица 2

Причины повреждения	Влияющие факторы	Вид повреждений ствола и крепи
Повышенное горное давление	Опорное давление от очистных выработок. Ослабление околоствольного массива выработками. Наличие слабых неустойчивых пород	Крепь: шелушение, скалывание, трещины, заколы, вывалы, выдавливание. Изгиб расстрелов и проводников
Смещение породных слоев по поверхностям ослабления	Послойные сдвиги при изгибе слоев в области под- и надработки очистными выработками. Сдвигение массива пород по напластованию, трещинам, тектоническим нарушениям	Искривление ствола, срез крепи. Различные виды деформации армировки
Сжатие околоствольного массива	Уплотнение старых выработанных пространств, водопонижение, вынос песка из пlyingунов	Оседание устья ствола. Повреждения крепи и армировки
Растяжение околоствольного массива	Разуплотнение массива пород в области подработки очистными выработками	Крепь: отслоения, трещины с рваными краями, заколы, вывалы, разрывы обсадных труб. Увеличение зазоров между проводниками
Агрессивное воздействие среды	Разрушение цемента под влиянием подземных вод. Коррозия металлических элементов под воздействием шахтной атмосферы и воды	Коркообразование, вздутие бетона, раковины, каверны. Гниение древесины. Коррозия армировки
Несоответствие фактических параметров крепи условиям поддержания ствола	Нарушения технологии проведения, крепления и поддержания ствола: оставление пустот за крепью, некачественная крепь (по толщине, прочностным свойствам), обмерзание крепи, механические повреждения крепи и армировки и т. д.	Повреждения крепи и армировки в зависимости от конкретных причин нарушения технологии

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Таблица 3

Состояние стволов; оценка в баллах	Состояние крепи и армировки стволов, характер их повреждений	Оценка		Меры по обеспечению безопасной эксплуатации ствола
		несущей способности крепи	эксплуатационных свойств ствола	
Хорошее; 1	Отсутствие видимых повреждений; наличие незначительных повреждений крепи негеомеханического характера	Не нарушена	Не нарушена	Дополнительные мероприятия не требуются
Удовлетворительное; 1,5	Локальные повреждения крепи под влиянием геомеханических и негеомеханических факторов на участках ствола: волосяные трещины, шелушение и скалывание на глубину не более 15 % толщины крепи. Повреждения армировки отсутствуют	Нарушена несущественно	То же	Текущий ремонт, усиление крепи анкерами
Неудовлетворительное; 2	Локальные повреждения армировки и крепи: трещины, заколы, раковины, каверны, вывалы на глубину до 50 % толщины крепи	Нарушена	Частично нарушена	Ремонт без прекращения эксплуатации ствола. Предварительное усиление крепи
Плохое; 2,5	Повреждения крепи (на толщину) и армировки на участках ствола протяженностью более 5 м с потерей устойчивости крепи и пород	>>	Существенно нарушена	То же
Аварийное; 3	Значительные повреждения крепи и армировки ствола на участках сопряжений с потерей устойчивости крепи и пород, вызванные геомеханическими факторами	Существенно нарушена	То же	Остановка ствола для капитального ремонта по специальному проекту

Повреждения армировки стволов проявляются в виде изгибов проводников и расстрелов, увеличении и уменьшении зазоров между проводниками, коррозии элементов армировки. Наиболее опасны изгибы проводников и расстрелов, которые приводят к сужению или расширению колеи и, следовательно, к зависанию подъемных сосудов.

Таблица 4

Причина повреждений	Степень влияния, %
Слабые, неустойчивые породы, в которых расположены сопряжения	40
Влияние очистных выработок, проводимых вблизи границ предохранительных целиков	37
Влияние проведения или перекрепления околоствольного двора	19
Прочие причины	4

Повреждения крепи стволов наносят на развертки их поверхности с указанием размеров согласно данным рис. 1 и ориентировке относительно горизонта, расположения армировки и элементов залегания пород. Приводят также необходимые разрезы и сечения.

Как отмечалось, при характеристике повреждений крепи и армировки их вид и параметры тесно связаны с причинами возникновения. Систематизация этих связей приведена в табл. 2.

При анализе причин повреждений крепи и армировки вертикальных шахтных стволов необходимо обратить внимание на то, что металлические расстрелы ствольной армировки более чувствительны к деформациям сжатия, чем монолитная (бетонная, железобетонная) крепь.

На основании данных обследования состояния крепи и армировки стволов дается оценка эксплуатационного состояния и определяются меры по устранению нарушений согласно данным табл. 3.

Результаты обследования показали, что большинство вертикальных стволов в Донбассе имеют повреждения крепи и армировки. Воздействие на стволы очистных и околоствольных выработок – основная причина возникновения повреждений. Это влияние в разной степени проявляется в разных горно-геологических условиях отдельных регионов. Так, наибольший уровень нарушенности стволов приходится на предприятия, разрабатывающие крутонаклонные и крутые пласты, а также со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями (ГП «Красноармейскуголь», ГП «Дзержинскуголь», ГП «Первомайскуголь» и др.), наименее нарушенные стволы расположены в антрацитовых районах Донбасса.

На основании данных обследования проанализировано состояние стволов раздельно по участкам сопряжений и протяженным частям.

Сопряжения шахтных стволов с горизонтальными выработками и камерами – наиболее чувствительные участки стволов в отношении повреждений крепи и армировки. Объясняется это тем, что сопрягающиеся выработки оказывают влияние одна на другую, т. е. характеризуются повышенным напряженно-деформированным состоянием. Проведенные обследования 379 сопряжений стволов с околоствольными выработками в наиболее характерных горно-геологических условиях свидетельствуют о том, что 134 из них имеют или имели нарушения крепи и армировки. Основные причины повреждений крепи и армировки в районах сопряжений и их значимость приведены в табл. 4.

Первый вид причин повреждений крепи и армировки в районах сопряжений стволов с выработками в общем случае означает несоответствие несущей способности крепи и (или) ее деформационных характеристик условиям слабых, неустойчивых пород. С увеличением глубины разработки влияние этой причины повреждений усиливается в связи с интенсификацией процесса перехода пород в предельное и запредельное состояния.

Район сопряжения представляет собой сочетание разного вида вертикальных и горизонтальных выработок и камер. Наиболее распространено двухстороннее сопряжение

вертикального ствола с горизонтальными выработками рудничного двора, в котором по форме и условиям поддержания выделяются четыре зоны [4]. Как правило, наибольшее количество повреждений приходится на горизонтальные участки сопряжений, вторая по нарушенности зона – вертикальный участок ствола выше проема сопряжения.

Выводы. Выполненный анализ результатов обследований вертикальных стволов и их сопряжений с околоствольными выработками позволил установить причины повреждений крепи и армировки, а также определить значимость отдельных видов факторов в общем процессе возникновения нарушений.

Области сопряжений имеют не только большую степень нарушенности, но и отличаются по характеру и основным причинам возникновения повреждений по сравнению с протяженными участками стволов.

Разработанная авторами апробированная методика обследования стволов свидетельствует об эффективности постоянного изучения напряженно-деформированного состояния околоствольного массива, так как позволяет наметить, во-первых, направления дальнейших исследований проблемы охраны и поддержания шахтных стволов и, во-вторых, пути разработки технических решений по предотвращению их повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрибан В. А. Геомеханика управления устойчивостью околоствольного массива горных пород глубоких угольных шахт: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.09 / Дрибан Виктор Александрович. – Днепропетровск, 2004. – 321 с.
2. Кулибаба С. Б. Маркшейдерское обеспечение охраны вертикальных стволов угольных шахт Донбасса: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.01 / Кулибаба Сергей Борисович. – Донецк, 2004. – 318 с.
3. Колдунов И. А. Геомеханическое обеспечение устойчивости сопряжений вертикальных стволов глубоких горизонтов: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 / Колдунов Игорь Александрович. – Днепропетровск, 2011. – 161 с.
4. Указания по определению параметров и конструкций крепи вертикальных шахтных стволов и приствольных камер на больших глубинах в горно-геологических условиях Центрального и Стаханово-Первомайского районов Донбасса. – Ленинград: ВНИМИ, 1981. – 72 с.