© М.В. Прокопова, К.Э. Ткачева, 2013

УДК 622.258

М.В. Прокопова, К.Э. Ткачева

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЕТОННОЙ КРЕПИ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Выполнен анализ особенностей проектирования реконструкции вертикальных стволов шахт и рудников. Сформулированы требования к построению математических моделей реконструируемых стволов для анализа напряженно-деформированного состояния их крепи.

Ключевые слова: вертикальный ствол, реконструкция, бетонная крепь, математическое моделирование.

В настоящее время при сооружении вертикальных стволов шахт основным видом крепи является монолитная бетонная крепь, объем применения которой составляет более 90% их протяженности [1]. Анализ состояния вертикальных стволов шахт Российского и Украинского Донбасса [2—4] свидетельствует о том, что более 70% глубоких стволов имеют нарушения крепи, связанные с увеличением глубины разрабатываемых горизонтов, ухудшением горно- и гидрогеологических условий и влияния комплекса негативных факторов, вызывающих повышенные нагрузки на крепь.

Особенно в неблагоприятных условиях находятся сопряжения стволов. По данным [6], в настоящее время в странах СНГ находится около 200 шахтных стволов с нарушенными крепью и армировкой. Нарушения крепи стволов проявляются, в виде отдельных трещин, систем пересекающихся трещин, отслоений, заколов, вывалов крепи, обрушений участков крепи до вмещающих пород, изменения формы поперечного сечения ствола и т.п. Как показывает практика эксплуатации вертикальных стволов в Донбассе [3—7], часто возникают нарушения крепи и армировки, требующие мероприятий по их реконструкции, классификация которых выполнена в работе [2].

Кроме неудовлетворительного состояния крепи и армировки стволов, причиной их реконструкции может стать развитие фронта горных работ, предусматривающее отработку новых горизонтов, что приводит к необходимости рассечек новых сопряжений в действующем стволе или его углубки.

При проектировании реконструкции вертикальных стволов необходимо учитывать ряд особенностей, связанных с ведением горностроительных работ по ремонту, восстановлению, усилению, замене крепи и армировки, а также проведения дополнительных сооружений и углубки:

- напряженно-деформированное состояние (НДС) нарушенного массива, вмещающего реконструируемый ствол, существенно отличается от НДС массива, возникающего при новом строительстве, поэтому при проектировании реконструкции ствола (особенно новых сопряжений и углубки) следует рассчитывать крепь и армировку на воздействие нагрузок со стороны уже нарушенного масссива;

• в зависимости от свойств боковых пород и типа крепи ствола, НДС массива и крепи может существенно изменяться с течением времени, поэтому при проектировании крепи реконструируемого ствола следует учитывать реологические свойства пород и период предыдущей эксплуатации ствола, а также проектируемый период эксплуатации ствола после реконструкции;

• при проектировании реконструкции воздухоподающих стволов необходимо учитывать фактический температурный режим их эксплуатации [8], в частности, при перекреплении или ремонте крепи стволов, в которых наблюдалось обледенение устьев, следует предусматривать применение морозостойких бетонов и податливых узлов крепления элементов армировки;

• проектируемые методы реконструкции должны приниматься в зависимости от условий дальнейшей эксплуатации ствола с учетом оценки влияния очистных работ, агрессивных вод, сложных горно-геологических условий и т.д. Например, если известно, что ствол в будущем будет подвергаться повторному воздействию очистных выработок, недопустимо устройство так называемых «латок», т.е. заполнения бетоном отдельных участков с оборкой разрушенной крепи. «Латки» являются более слабым участком, чем окружающая крепь, так как по их контуру сцепление с неповрежденной крепью и сопротивление на отрыв значительно меньше, чем у материала крепи. Как показывает опыт поддержания вертикальных стволов в Донбассе [9], при влиянии очистных выработок, деформации крепи, как правило, возникают в ранее отремонтированных местах;

• поскольку нарушения крепи наиболее часто возникают в местах пересечения ствола слабыми слоями пород и у сопряжения с другими выработками, деформационные швы следует располагать в пластах угля, глинистых сланцах и зонах, ослабленных геологическими нарушениями, а также непосредственно над сопряжениями с околоствольными дворами и под ними;

• при проектировании технологии и организации ведения работ по ремонту или замене крепи следует учитывать такие особенности, как: индивидуально-типовой характер производства работ, большую долю маломеханизированных процессов в общей трудоемкости работ, стесненные условия работ при отсутствии стационарного места, необходимость проведения ремонта в кратчайшие сроки вследствие снижения интенсивности эксплуатации подъемных комплексов, переменную интенсивность выполнения работ на отдельных видах оборудования, рассредоточенность объемов ремонтных работ по глубине ствола и др.

Правильный выбор способа реконструкции ствола зависит от надежной оценки характера и величины нагрузок, действующих на крепь при ее эксплуатации. Для принятия научно обоснованных технических и технологических решений по реконструкции стволов (ремонту, усилению крепи, рассечке новых сопряжений, углубке и др.) необходимо оценить сложившееся до начала реконструкции НДС вмещающего породного массива и крепи ствола и проанализировать перспективу его изменения в результате мероприятий по реконструкции. Наиболее простым методом качественной оценки НДС твердых тел (породных массивов, строительных конструкций и др.) является математическое моделирование с использованием современных программных комплексов, реализующих численные методы («Лира-Windows», Structure Cad, «Мономах», Plaxis и др.).

С учетом вышеперечисленных особенностей, учет которых необходим

при проектировании реконструкции стволов, можно сформулировать основные **требования к построению математических моделей реконструируемых стволов** методом конечных элементов:

• использование объемных конечных элементов, позволяющих точно моделировать геометрическую схему примыкающих к стволу сопряжений в соответствии с их реальными размерами и формой, а также учитывать возможное изменение характеристик пород по глубине ствола;

• задание предварительно напряженно-деформированного состояния массива, сложившегося до начала реконструкции ствола. Большинство современных программных комплексов для оценки НДС позволяют задавать не только нагрузки, прилагаемые к элементам модели, но и конкретные перемещения узлов. Таким образом, зная фактические смещения контура ствола и примыкающих выработок, можно задать начальные перемещения узлов модели и получить качественную картину НДС до момента реконструкции;

• учет конкретной горно-геологической и геомеханической обстановки, которая часто приводит к неравномерности распределения нагрузки на крепь вследствие существенного изменения свойств пересекаемых пород по глубине, определенного угла и азимута падения пород, пересекаемых стволом, образования местных ослаблений (трещин, вывалов, уменьшения толщины крепи и др.) [10];

• анализ динамики изменения НДС крепи и массива по мере рассечки, проходки и крепления сопряжений или углубки ствола в существующем поле напряжений. Динамику изменения НДС можно отследить, последовательно создавая ряд моделей, отражающих реальное изменение фронта горнопроходческих работ с соответствующим наложением изополей напряжений и деформаций;

• учет нелинейности работы пород и материала крепи. Программные комплексы позволяют создавать как упругие, так и нелинейно деформируемые конечные элементы с описанием закона нелинейности деформации. В зависимости от свойств крепи и вмещающих пород необходимо задавать то или иное уравнение нелинейности деформации при приложении нагрузок;

• моделирование процесса нагружения с учетом реологических свойств пород. Так как до начала реконструкции и после ее осуществления ствол может находиться в эксплуатации годы или десятки лет, то в зависимости от конкретных пород, пересекаемых стволом, могут проявляться в большей или меньшей реологические свойства, что также может быть учтено при построении модели;

• учет температурного режима работы и крепи реконструируемого ствола. Программные комплексы позволяют задавать температурные нагрузки на элементы в виде амплитуды температуры, что моделирует возникновение дополнительных термонапряжений в конструкциях. Необходимость приложения температурных нагрузок определяется вентиляционным назначением ствола и глубиной моделируемого участка [8].

• определение расчетных сочетаний усилий, позволяющее учесть, что негативные факторы (нагрузки) могут действовать неодновременно;

• прогноз участков ствола по глубине, где ожидаются максимальные смещения стенок вследствие образования мульды сдвижения от отработанных горизонтов (пластов или руд-

ных тел). Возникающие при этом дополнительные смещения можно формировать на модели путем задания перемещений соответствующих узлов (по данным фактических замеров) крепи и породы, что приведет к образованию соответствующего поля напряжений вследствие указанного фактора.

Учет перечисленных особенностей позволит в полной мере оценить состояние массива пород, характер распределения напряжений вокруг ствола, проанализировать особенности эксплуатации ствола после реконструкции и принять обоснованные решения по технологии и организации реконструкции крепи и армировки ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Напряженно-деформированное* состояние нарушенной бетонной крепи ствола / А.В. Будник, А.Н. Лапко, Л.В. Жигачева и др. // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. — Донецк: Норд-пресс, 2003. — Вып. 3. — С. 105—109.

2. *Борщевский С.В., Прокопова М.В., Ткачева К.Э.* О состоянии и возможностях реконструкции вертикальных стволов шахт Донбасса // Перспективные технологии добычи и использования углей Донбасса: материалы Междунар. науч.-практ. семина ра. — Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2009. — С. 97 — 102.

3. *Мониторинг* состояния вертикальных шахтных стволов / В.В. Гамаюнов, А.В. Будник, Л.В. Жигачева и др.// Современные проблемы шахтного и подземного строительства. — Донецк: Норд-Пресс, 2006. — Вып. 7. — С. 154 — 160.

4. *Манец И.Г., Снегирев Ю.Д., Паршинцев В.П.* Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов. — М.: Недра, 1987. — 327 с.

5. *О проблемах* поддержания и реконструкции вертикальных стволов шахт Донбасса / С.В. Борщевский, М.В. Прокопова, К.Э. Ткачева и др. // Известия ТулГУ. Естественные науки. Вып. 3. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. — С. 245—253.

6. *Борщевский С.В., Прокопов А.Ю.* Исследование основных причин нарушений крепи вертикальных стволов угольных шахт Донбасса // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: Збірник наукових праць. — Донецьк: ВАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова», 2007. — С. 54—62.

7. *Гамаюнов В.В., Будник А.В.* Основные виды и причины нарушений крепи вертикальных стволов угольных шахт // Технология и проектирование подземного строительства: Вестник. — Донецк: Норд-Пресс, 2003. — Вып. 3. — С. 91 — 97.

8. *Борщевский С.В., Прокопов А.Ю., Кулинич К.В.* Дослідження теплового режиму повітряподаючих стволів шахт Донбас су // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IV междунар. науч.-практ. конф. (14—15 мая 2009 г., г. Антрацит) — Донецк: Вебер, 2009. — С. 97 — 105.

9. *Манец И.Г., Грядущий Б.А., Левит В.В.* Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов: Научно-производственное издание / Под общ. ред. д-ра техн. наук Сторчака С.А. — Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. — 596 с.

10. *Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Ткачева К.Э.* Новый подход к проектированию глубоких вертикальных стволов шахт // Современные проблемы шахтного и подземно го строительства: — Донецк: Норд-Пресс, 2009. — Вып. 10—11. — С. 291 — 297. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Прокопова Марина Валентиновна — кандидат технических наук, доцент кафедры, prokopov72@rambler.ru,

Ткачева Карина Эдуардовна — ассистент кафедры, karinatkacheva@mail.ru,

кафедра «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института (филиала) ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет».