

УДК 622.023

В.А. Курнаков

О ПРОБЛЕМЕ СОХРАНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ НА СТАДИИ ПОГАШЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Отмечена актуальность проблемы сохранения эксплуатационной надежности наклонных стволов на стадии погашения предохранительных целиков, а также вопросы эффективной закладки и ликвидации вскрывающих выработок с учетом экологической безопасности подработанных территорий. Представлена методика определения деформаций наклонных стволов в зоне подработки.

Ключевые слова: общие капитальные и эксплуатационные, состояние подрабатываемых наклонных целиков, геозкологические ситуации, разборка завалов, перекрепление, оборудование дополнительных систем проветривания, доставка материалов закладки.

Как известно, около 40% угольных предприятий с подземным способом добычи имеют схемы вскрытия, ориентированные на наклонные стволы. Часть данных схем вскрытия предопределяет, исходя из определенных горно-геологических и горнотехнических ситуаций, либо заложение наклонных стволов в верхних пластах свиты угольных пластов, либо проведение наклонных стволов в пустых породах (как, например, при вскрытии пологих или горизонтальных угольных пластов). Необходимым условием безаварийной эксплуатации таких стволов является оставление предохранительных целиков. При закрытии угольных шахт для снижения общих капитальных и эксплуатационных затрат выемка таких целиков является весьма целесообразной как исходя из наличия горношахтного оборудования, так и основываясь на практически полноценной подготовке данных ограниченных запасов.

Однако основная сложность при извлечении предохранительных целиков заключается в сохранении эксплуатационной надежности подраба-

тываемых наклонных шахтных стволов, которые обеспечивают главные транспортные потоки как по выдаче полезного ископаемого, так и по доставке демонтируемого оборудования. Исходя из этого, особую важность здесь приобретают вопросы геомеханической оценки влияния отработки предохранительных целиков на состояние крепи наклонных стволов. Существующие в настоящее время методы исследований и расчетные модели не позволяют адекватно не только прогнозировать состояние подрабатываемых наклонных стволов, но и дать фактическую оценку изменения напряжений и деформаций в крепи и во вмещающем массиве в процессе отработки предохранительных целиков.

С другой стороны, принятый в настоящее время, в качестве основного, способ ликвидации вскрывающих горных выработок путем засыпки перегоревшей породой, как показывает опыт, не гарантирует надежной их консервации, что в последующем приводит к существенным деформациям поверхности, возникновению провалов, прорывам подземных вод и

газовоздушной смеси, формируя комплекс экологических проблем. Основными причинами осложнения горнотехнических и геоэкологических ситуаций после сухой закладки вскрывающих гонных выработок являются неполнота заполнения, низкая степень уплотнения и высокий коэффициент сжимаемости пород, наличие куполов обрушений в кровле, завалы выработок, слабая устойчивость боковых пород. Наряду с этим при закрытии шахт возникает множество проблем, связанных с неудовлетворительным состоянием подлежащих ликвидации вскрывающих горных выработок, в частности: разборка завалов, перекрепление, оборудование дополнительных систем проветривания и доставки материалов закладки.

В этой связи, проблема сохранения эксплуатационной надежности наклонных стволов на стадии погашения предохранительных целиков, а также вопросы эффективной закладки и ликвидации вскрывающих выработок с учетом экологической безопасности подработанных территорий является весьма актуальной.

При анализе состояния наклонных шахтных стволов в процессе их подработки было установлено, что при подвигании очистного забоя выделяются три отличающиеся по длине ствола участка: участок, располагающийся в пределах плоского дна мульды сдвижения; участок с деформационными характеристиками, формирующимися в пределах полумульды; участок со стационарным напряженным состоянием, находящийся за пределами мульды сдвижения.

Рассмотрим определение перемещений для каждого из участков по длине ствола. В пределах плоского дна мульды перемещения ствола будут определяться только на основании величины максимального оседания,

так горизонтальные сдвигения в этой зоне равны 0. Тогда поперечные x_{1i} и продольные y_{1i} смещения в любом i -м сечении ствола на первом участке можно определить по формулам:

$$x_{1i} = q_0 m \cos \alpha \cos \alpha_{cm};$$

$$y_{1i} = q_0 m \cos \alpha \cos \alpha_{cm},$$

где q_0 - относительное максимальное оседание; m - вынимаемая мощность пласта; α - угол падения пласта; α_{cm} - угол заложения наклонного шахтного ствола.

Данный участок характеризуется тем, что его перемещения по всей длине, начиная от устья ствола, происходят совместно с вертикальным перемещением всей кровельной толщи вплоть до земной поверхности. Изгибные деформации в пределах участка отсутствуют. В связи с этим напряжения в крепи ствола остаются равными начальным (до подработки) напряжениям. Участок находится в пределах:

$$0 \leq L_{1cm} \leq \sqrt{(L_{cm} \cos \alpha_{cm} - L_{заб})^2 + H^2} \cdot \sin \left(\psi_3 - \arctan \frac{H}{L_{cm} \cos \alpha_{cm} - L_{заб}} \right) \cdot \frac{1}{\sin(\psi_3 - \alpha_{cm})}$$

где L_{1cm} - длина первого участка ствола; L_{cm} - длина наклонного ствола; $L_{заб}$ - расстояние от линии очистного забоя до пересечения ствола с угольным пластом; H - глубина залегания угольного пласта; ψ_3 - угол полных сдвижений у границы выработки по простиранию.

На втором участке, находящемся в пределах полумульды, возникают из-

гибные деформации, изменяющие от максимальных (на границе с первым участком) до 0 (на границе с третьим участком). Границы данного участка определяются из выражения:

$$L_{1cm} \leq L_{2cm} \leq \\ \leq L_{cm} - L_{заб} \frac{\sin \delta_0}{\sin(\delta_0 + \alpha_{cm})},$$

где L_{2cm} – длина второго участка ствола; δ_0 – граничный угол на разрезе по простиранию пласта.

Уравнение для определения длины второго участка имеет вид:

$$L_{2cm} = L_{cm} - L_{заб} \frac{\sin \delta_0}{\sin(\delta_0 + \alpha_{cm})} - L_{1cm}.$$

Определение деформаций ствола в пределах второго участка основывается на вертикальных осадках и горизонтальных сдвижениях по линии, параллельной земной поверхности, и скользящей по глубине, равной вертикальной проекции второго участка. По данной линии принимается размер условной полумульды, внутри подрабатываемого массива между прямыми, отсекаемыми по граничному углу и углу полных сдвижений. Максимальный размер условной полумульды соответствует верхней по глубине границе второго участка, минимальный – нижней. В итоге:

$$L_{3min}^{ysl} = L_{2cm} \frac{\sin(\psi_3 - \alpha_{cm})}{\sin \psi_3};$$

$$L_{3max}^{ysl} = L_{2cm} \frac{\sin(\delta_0 + \alpha_{cm})}{\sin \delta_0}.$$

Для условий Восточного Донбасса при обработке массива данных относительных оседаний $S(x_i)$ и горизонтальных сдвижений $F(x_i)$ были полу-

чены экспоненциальные уравнения следующего вида:

$$S(x_i) = \left(1 + 0,584 \left(\frac{x_i}{L_3^{ysl}} - \left(\frac{x_i}{L_3^{ysl}} \right)^2 \right) \right) \cdot \exp \left(-2\pi \left(\frac{x_i}{L_3^{ysl}} \right)^3 \right);$$

$$F(x_i) = \pm 2,196 \cdot \exp \left(- \left(3,931 \left(1 - \frac{x_i}{L_3^{ysl}} \right) - 1,998 \right)^2 \right),$$

где L_3^{ysl} – длина условной полумульды на разрезе по простиранию; x_i – расстояние от точки максимального оседания (начала) до i -й точки в пределах условной полумульды.

Тогда поперечное и продольное перемещения ствола в пределах второго участка могут быть найдены по формулам:

$$x_{2i} = q_0 m \cos \alpha \cdot \left(S(x_i) \cos \alpha_{cm} \pm \frac{1}{2} a_0 F(x_i) \sin \alpha_{cm} \right);$$

$$y_{2i} = q_0 m \cos \alpha \cdot \left(S(x_i) \sin \alpha_{cm} \pm \frac{1}{2} a_0 F(x_i) \cos \alpha_{cm} \right),$$

где a_0 – относительное максимальное горизонтальное сдвижение при полной подработке.

Основным критерием прогнозной оценки состояния ствола при его подработке является сравнение напряжений в сечениях ствола в главной изгибной плоскости (по линии простирания) с предельно допустимыми для монолитной сплошной бетонной крепи. При этом ствол рассматривается как круглоцилиндрический стержень с толщиной стенок, равной толщине бетонной крепи. На-

пряжения в сечениях находятся по известной формуле:

$$\sigma_{2i} = \frac{M_{2i}}{W_{cm}} \pm \frac{N_{2i}}{S_{cm}},$$

где M_{2i} и N_{2i} – изгибающий момент и продольная сила в i -м сечении ствола в пределах второго участка; W_{cm} и S_{cm} – момент сопротивления и площадь поперечного сечения ствола.

Для определения изгибающего момента и продольной силы запишем следующие дифференциальные выражения:

$$M_{2i} = q_0 m \cos \alpha \left(\frac{\partial^2 S(x_i)}{\partial x^2} \cos \alpha_{cm} \pm \pm \frac{1}{2} a_0 \frac{\partial^2 F(x_i)}{\partial x^2} \sin \alpha_{cm} \right);$$

$$\cdot E_{кр} I_{cm}$$

$$N_{2i} = q_0 m \cos \alpha \cdot$$

$$\left(\frac{\partial S(x_i)}{\partial x} \sin \alpha_{cm} \pm \pm \frac{1}{2} a_0 \frac{\partial F(x_i)}{\partial x} \cos \alpha_{cm} \right) E_{кр} S_{cm},$$

где $E_{кр}$ – модуль упругости материала крепи ствола (бетона); I_{cm} – момент инерции сечения ствола.

Получаемые в результате прогноза напряжения сравниваются с предельно допустимыми. Если напряжения в крепи превышают предельно допустимые, то при отработке предохранительного целика необходимо либо сократить вынимаемую мощность, либо вести очистные работы с закладкой выработанных пространств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курнаков В.А., Страданченко С.Г. Обоснование способов закладки наклонных стволов закрываемых угольных шахт Восточного

Донбасса. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Известия вузов. Сев.-Кавк. регион», 2007. – 120 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Курнаков В.А. – доцент, кандидат технических наук, Шахтинский институт (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)» siurgtu@siurgtu.ru

