

Фомин В.О.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА

На базі конкретних шахтних умов методом кінцевих елементів проведено моделювання НДС приустьевої зони вертикального ствола. Установлено очікувані величини вертикальних і горизонтальних напруг і зсувів, а також характер їхнього розподілу навколо цієї зони. Визначено передумови використання наносів у якості опорного геоматеріала для спорудження надійних конструкцій ізолюючих від земної поверхні перекриттів.

Ключові слова: устя ствола, геоматеріал, математична модель, напруга, стійкість.

На базе конкретных шахтных условий методом конечных элементов проведено моделирование НДС приустьевой зоны вертикального ствола. Установлены ожидаемые величины вертикальных и горизонтальных напряжений и смещений, а также характер их распределения вокруг этой зоны. Определены предпосылки использования наносов в качестве опорного геоматериала для сооружения надежных конструкций изолирующих от земной поверхности перекрытий.

Ключевые слова: устье ствола, геоматериал, математическая модель, напряжение, устойчивость.

Содержание в устойчивом состоянии приустьевой зоны вертикального ствола, имеющего выход на земную поверхность, во многом зависит от потенциальной способности длительного сохранения в равновесии системы «крепь – геоматериал». Как правило, бетонная крепь в верхней части ствола находится в весьма низкопрочностных массивах, которые представлены наносами и сильно выветренными породами.

Взаимодействие крепи ствола по продолжительности этапов его существования следует условно разделить на следующие периоды, связанные с соответствующими затратами времени: непродолжительный (4...8 лет) – на сооружение ствола, которое зависит в основном от глубины, диаметра и скорости проведения ствола; продолжительный (50...120 лет) – эксплуатацию шахты или ее блока; неопределенный

(5...30 лет) – поддержание ствола до его ликвидации, связанное с составлением проекта и ожиданием его реализации; краткосрочный (1...5 лет) – изоляцию ствола от земной поверхности и бесконечный (неограниченный во времени) – сохранение устья ствола после его ликвидации без образования провалов.

Вертикальные стволы на момент их ликвидации при закрытии шахт Украинского Донбасса, в большинстве случаев сохраняют свою устойчивость. Однако за неограниченный по продолжительности период трудно предвидеть сохранность их устьев. Если послеэксплуатационный этап можно сократить до минимума (2...4 года), то неограниченный во времени период, что подтверждается на практике, неуправляем [1]. Опосредованно продлить его на более продолжительный срок возможно только за счет применения высоконадежных способов и средств изоляции ствола от земной поверхности.

Проблема надежного обеспечения продолжительной устойчивой изоляции от земной поверхности ликвидируемых вертикальных стволов сооружений, выдвигает необходимость решения ряда актуальных вопросов, одним из которых является установление напряженно-деформированного состояния весьма слабых пород в приустьевой зоне, как наиболее подвижной части массива, находящейся в силовом взаимодействии с изолирующим сооружением после ликвидации ствола.

Цель исследования – на базе конкретных исходных условий методом математического моделирования установить характер и величины распределения напряжений и смещений геоматериала, удерживаемого крепью в приустьевой зоне вертикального ствола. Сформулированы следующие задачи:

- провести анализ исходных условий заложения вертикального ствола, подлежащего ликвидации;
- разработать математическую модель напряженно-деформируемого состояния пород в приустьевой зоне ствола;
- определить возможность использования приустьевой зоны, как естественной опорной среды для перекрытия, обеспечивающего надежную продолжительную изоляцию от земной поверхности ствола после его ликвидации.

В качестве объекта исследования принята приустьевая зона вспомогательного ствола № 8 шахты «Украина» ГП «ОД «Луганскуглереструктуризация», пройденного за период с 1980 по 1984 г., глубиной 724 м, диаметром в свету 6,0 м, с бетонной крепью, толщиной 0,8 ... 1,0 м. При разработке математической модели методом конечных элементов (МКЭ) [2] использованы фактические условия заложения устья ствола (рис. 1) и прочностные характеристики вмещающих его пород (табл.).

На первом этапе моделирования с использованием физически нелинейных треугольных и четырехугольных конечных элементов плоской задачи построена геометрическая схема приустьевого околоствольного массива с учетом мощностей, углов напластования и типов породных слоев, пересекаемых вертикальным стволом, диаметром в черне 7,6 м и толщиной крепи 0,8 ... 1,0 м.

Высота модели принята 10 м, исходя из суммарной мощности наносов и выветренного известняка в пределах приустьевой зоны вертикального ствола, а ширина 32,8 м – с учетом рекомендаций [3]. Для повышенной точности расчета смещений и напряжений пород и крепи триангуляция контуров модели выполнялась с шагом 0,1 м.

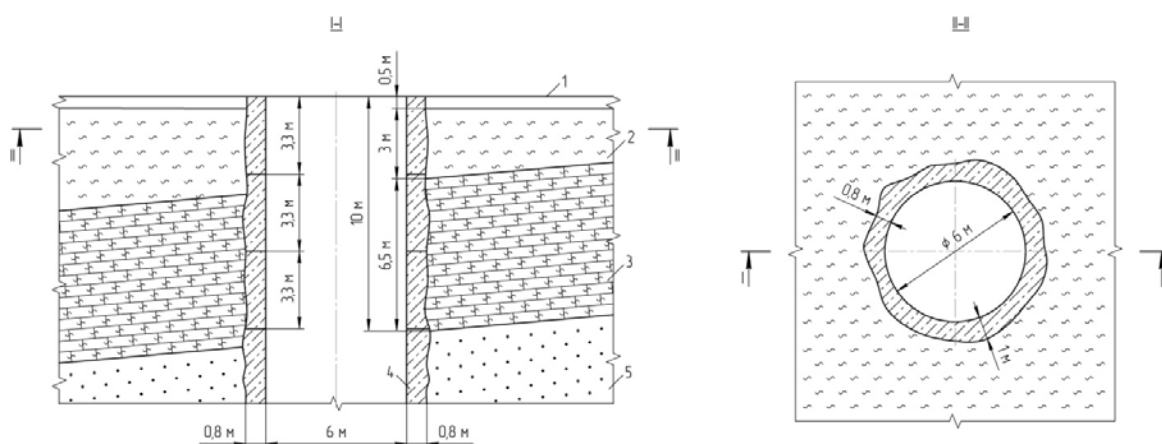


Рисунок 1 – Строение пород в сечениях приустьевой зоны ствола № 8 соответственно продольном (I-I) и поперечном (II-II): 1 – шлак доменный; 2 – почвенный слой; 3 – выветренный, весьма трещиноватый известняк; 4 – крепь бетонная; 5 – коренные породы (песчаник)

На последующих этапах заданы граничные условия, для чего узлы нижней грани модели были закреплены по направлениям осей x и z , а узлы крайней левой и крайней правой граней – по оси x . Сформированы четыре типа жесткости по их назначениям, соответствующим элементам расчетной схемы с семью нагрузками. При этом в качестве нагрузки использован только собственный вес пород и бетона приустьевой зоны вертикального ствола. С помощью системы «Монтаж», входящей в состав ПК Лира 9.4, смоделировано состояние породного массива приустьевой зоны во время сооружения вертикального ствола. На заключительном шестом этапе осуществлено нагружение семи нелинейных задач конечно-элементной модели для их решения.

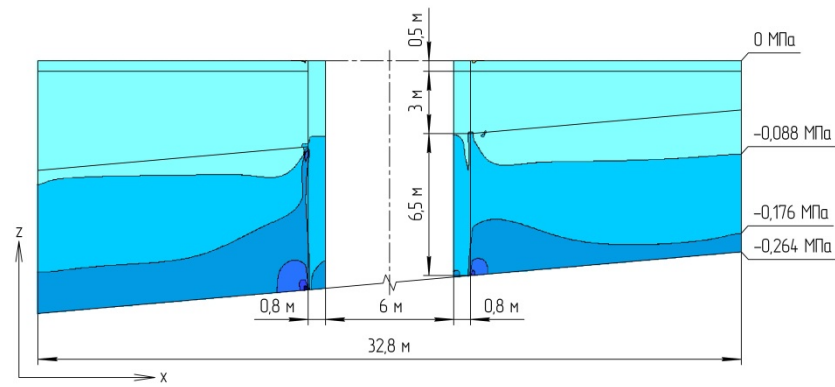
Таблица – Прочностные характеристики геоматериала и крепи в приустьевой зоне ствола

Прочностная характеристика	Количественное значение параметра			
	геоматериала			крепи
наименование параметра и единицы его измерения	доменный шлак	почвенный слой	выветренный известняк	бетон класса В30
Модуль деформации по ветви первичного нагружения, МПа	8	20	6000	32460
Сцепление, МПа	0,001	0,00275	14	–
Предельное напряжение при растяжении, МПа	0,0001	0,001	8,5	1,2
Коэффициент Пуассона	0,3	0,3	0,27	0,2
Объемный вес, Н/м ³	16200	16000	24400	25000
Коэффициент перехода к модулю деформации по ветви вторичного нагружения	1	1	1	–
Угол внутреннего трения, град.	35	30	27	–
Угол падения слоев пород, град.	0	5	5	–

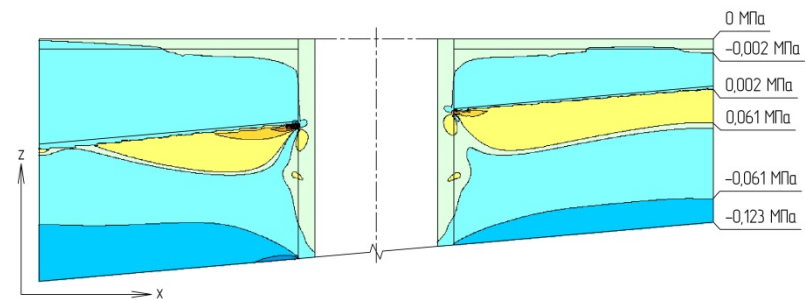
Графическая интерпретация результатов представлена на рис. 2: вертикальных и горизонтальных напряжений, соответственно на рисунках 2, а и 2, б; вертикальных и горизонтальных смещений – рисунках 2, в и рис. 2, г.

Результаты расчета показали, что на контуре приустьевой зоны вертикального ствола в массиве происходят образования вертикальных сжимающих напряжений величиной, не превышающих 0,26 МПа, горизонтальных сжимающих и растягивающих – соответственно до 0,12 МПа и 0,06 МПа. Все указанные напряжения не превышают прочностей, пересекаемых приустьевой зоной ствола пород. Крепь устья ствола испытывает в основном сжимающие напряжения, а на границе слоев – почвенного и выветренного известняка – растягивающие напряжения.

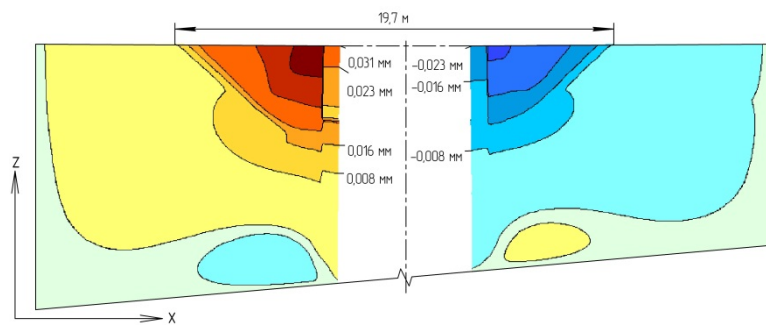
Предельное сопротивление при растяжении бетона (см. табл.), в 20 раз выше максимального по величине растягивающего напряжения. Предельное сопротивление бетона при одноосном сжатии (см. табл.), в 60 раз больше максимального по величине сжимающего напряжения. Максимальные горизонтальное (см. рис. 2, г) и вертикальное (см. рис. 2, в) смещения крепи устья наблюдаются в районе земной поверхности и составляют соответственно 0,03 мм и 0,025 мм.



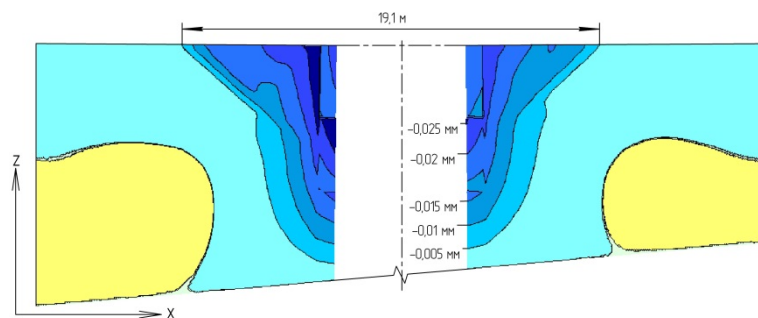
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Графическая интерпретация результатов моделирования НДС и смещений породного массива с крепью в приустьевой зоне вертикального ствола: а и б – вертикальных и горизонтальных напряжений; в и г – вертикальных и горизонтальных смещений

Натурные наблюдения состояния крепи приустьевой зоны ствола на глубине 9,9 м подтверждают результаты расчетов, полученные моделированием (рис. 3). Видимые деформации крепи на данном участке, кроме контактных швов, образованных при передвижке секционной опалубки после затвердевания бетонной смеси через 3,3 м, не установлены, если не считать обнаруженных отдельных признаков коррозии бетона.



Рисунок 3 – Фотофрагмент состояния бетонной крепи: 1 – бетон; 2 – контактный шов; 3 – следы коррозии бетона

Дополнительно произведено моделирование массива в приустьевой зоне до возведения в ней крепи. Так как этот технологический этап сооружения ствола является определяющим с точки зрения обеспечения устойчивости его приустьевой зоны без крепи, обеспечивающей при его ликвидации надежную изоляцию от земной поверхности [1]. Графическая интерпретация по результатам расчетов горизонтальных и вертикальных смещений при естественном обнажении, представлены на рис. 4. На эти смещения, несмотря на незначительную величину угла наклона приустьевых слоев пород (5°), последний оказывает влияние на характер и величину смещений этих слоев, по падению и восстанию: соответственно, горизонтальные 12...1145 мм, и вертикальные 11 ... 1167 мм; вертикальные 1752 ... 11 мм и горизонтальные 2130 ... 11 мм. Горизонтальные и вертикальные смещения геоматериала наносов, позволили установить их граничные зоны, которые составляют 17800 мм и 17700 мм (см. рис.4). Определение этих граничных зон способствует выбору конструкции перекрытия устья вертикального ствола при его ликвидации.

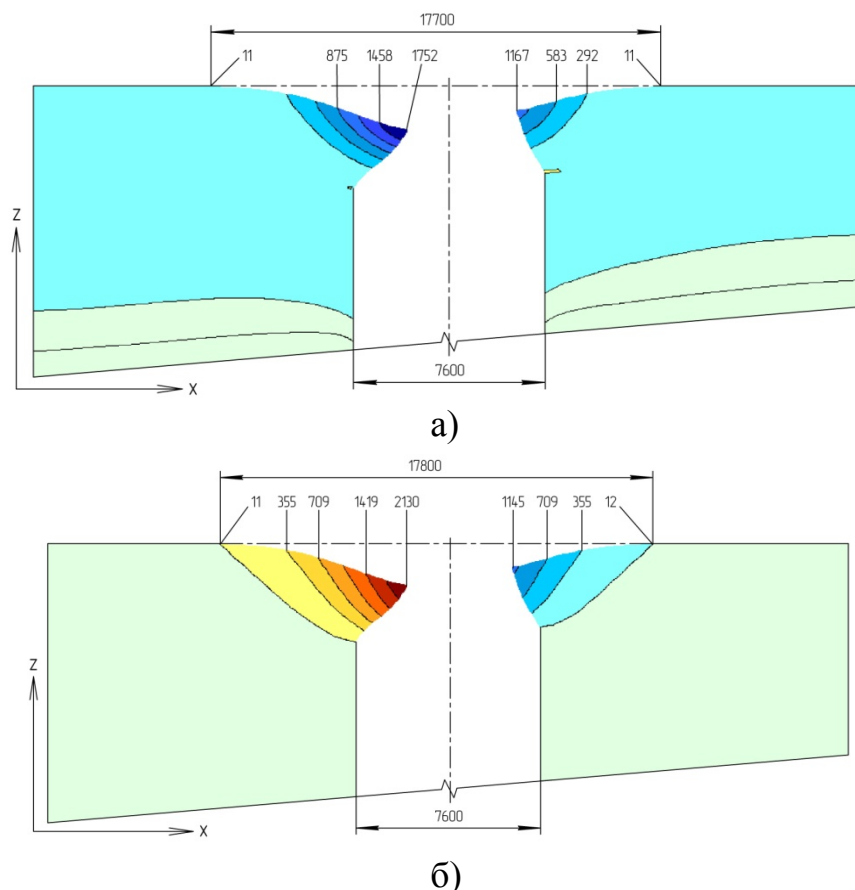


Рисунок 4 – Графическая интерпретация результатов моделирования смещений пород приустьевого околоствольного породного массива:
 а – вертикальных; б – горизонтальных (размеры в миллиметрах)

Выводы.

Разработана математическая модель с применением МКЭ на основании которой получены результаты напряжений и смещений элементов, составляющих систему «крепь – геоматериал приустьевой зоны». Определены величины напряжений и смещений пород с крепью в приустьевой зоне при эксплуатации ствола. Установлены предельные границы зон ожидаемых максимальных и минимальных смещений при сооружении ствола, относительно его оси. Данную методику рекомендуется применять при расчете напряжений, смещений пород и крепи при строительстве и ликвидации стволов.

Библиографический список

1. Фомин В.О. Потенциально опасные зоны провалов на поверхности вокруг ликвидированных стволов / В.О. Фомин // Уголь Украины. – 2011. – №8. – С. 17-21.
2. Лира ® 9.4. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие / Борисов В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д. и др. – К.: ФАКТ, 2008. – 280 с.
3. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. ВНИИИ. – Л.: Министерство угольной промышленности СССР, 1973. – 102 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Борзыхом А.Ф.

