

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОГАШЕННЫХ СТВОЛОВ.

В. Г. И. Звятильский Е. А. (директор АП шахта им. А. Ф. Засядько)

В настоящее время в связи с сокращением объемов горного производства все большую актуальность приобретает проблема надежной ликвидации вертикальных стволов. Например только на территории шахтоуправления им. газеты Правда в Донецке на сегодняшний день насчитывается более 260 погашенных шурфов и стволов. Большая их часть попросту засыпана породой из ближайших отвалов, в некоторых случаях в устье устанавливались полки и бетонные перекрытия. Однако опыт показывает, что с течением времени происходят оседания и провалы поверхности, вызванные уплотнением насыпной массы и истощением долговечности основных несущих конструкций, а именно крепи ствола и сооружаемых перекрытий. В результате этого имеют место несчастные случаи, связанные с падением людей и животных в шурфы и стволы, а также примыкающие к ним подземные технологические каналы. Кроме этого в их окрестности происходит изменение рельефа и повреждение дорог и строений.

В качестве основного мероприятия, обеспечивающего ликвидацию ствола используется его полная засыпка пустой перегоревшей породой и установка в его верхней части горизонтальной железобетонной перемычки [1]. Таким образом погашается большая часть стволов в Европе. Однако с течением времени в стволе происходит уплотнение материала, величина которого может достигать 50% [1]. Как правило, такая высокая степень уплотнения часто объясняется выдавливанием упорных перемычек, сооруженных в околоствольном дворе и последующим расползанием водонасыщенной породы по околоствольным выработкам. Даже при сооружении монолитных бетонных пробок, описанных в [1] возможна большая усадка породы до 15-20% из-за зависания ее на растрелах, неизвлеченных проводниках и других выступах и препятствиях. В результате через несколько лет у поверхности образуется значительный участок незасыпанного ствола с обнаженной крепью, которая с течением времени теряет устойчивость и разрушается. На поверхности это сказывается так же, как если бы засыпка не выполнялась, потому что по сути образуется новый ствол, только меньшей глубины. Для борьбы с этим явлением рекомендуется применить специальные твердеющие смеси [1], схватывающиеся после

засыпки и минимизирующие усадку в последствии, однако стоимость погашения ствола таким образом возрастает в несколько раз.

Плоское железобетонное перекрытие также не в состоянии обеспечить устойчивость устья. Во-первых во времени происходит корродирование арматуры и увеличением в объёме, что вызывает разрушение бетона изнутри. Во-вторых вследствие того, что плоское перекрытие в своей центральной части испытывает значительные деформации растяжения, происходит ослабление её прочностных свойств во времени. Поэтому даже самое прочное и качественное перекрытие не в состоянии обеспечить устойчивость пород в устье ствола на неопределённый промежуток времени.

Кроме этого сильное негативное воздействие, как на усадку заполнителя, так и на устойчивость перекрытия оказывает наличие влаги. Даже незначительные водоприток может ускорить оседание поверхности у устья ствола в несколько раз.

С целью повышения надёжности и одновременном снижении стоимости мероприятий автором разработан новый способ ликвидации стволов основанный на локальном, избирательном укреплении наименее устойчивых участков ствола с использованием параболической мембраны [2].

Положительный эффект при этом достигается за счет использования арочной конфигурации перекрытия исключающей возникновение наиболее вредных растягивающих напряжений и перераспределения напряжений от мембраны в глубину массива. Следует отметить, что в этом случае возможно применение неармированных бетонных конструкций, поскольку в арочном своде исключаются растягивающие напряжения, для восприятия которых и используется арматура. Как известно, неармированный бетон с течением времени упрочняется, особенно при наличии влаги.

Для сравнения нового и традиционных вариантов ликвидации стволов использовалась программа моделирования на основе дискретных элементов [3]. В существующий алгоритм были внесены изменения, позволяющие моделировать снижение прочностных характеристик во времени, что позволило достоверно смоделировать длительные сдвигения массива в окрестности погашенных стволов в сравниваемых вариантах.

Исходные данные, используемые для моделирования в сравниваемых вариантах аналогичны и представлены в табл. 1.

Разница между вариантами исходных данных заключалась только в геометрических параметрах мембраны.

Исходное состояние модели при использовании плоского перекрытия представлено на рис. 1, при размере элементов 0,4 м, её высота составляет 22 м, а ширина – 20 м.

Таблица 1. Характеристика исходных данных модели использования в вариантах расчетов.

| № | Исходные данные | Варианты расчета |
|----|---|------------------|
| 1 | Количество циклов расчета | 600000 |
| 2 | Преобразование времени, лет/цикл | 0,00015 |
| 3 | Время расчета, лет | 90 |
| 4 | Нормальная жесткость, МН/см | 4·103 |
| 5 | Касательная жесткость, МН/см | 1,5·103 |
| 6 | Плотность элементов, кг/м ³ | 2500 |
| 7 | Радиальное ускорение элементов, м/с ² | 9,81 |
| 8 | Тангентальное ускорение элементов, м/с ² | 0 |
| 9 | Нормальная прочность пород, МПа | 40 |
| 10 | Касательная прочность пород, МПа | 20 |
| 11 | Нормальная прочность крепи, МПа | 100 |
| 12 | Касательная прочность крепи, МПа | 100 |
| 13 | Количество элементов | 2340 |
| 14 | Диаметр ствола, м | 6,8 |
| 15 | Величина заделки мембраны в стенки ствола, м | 1,6 |
| 16 | Толщина мембраны, м | 1,2 |

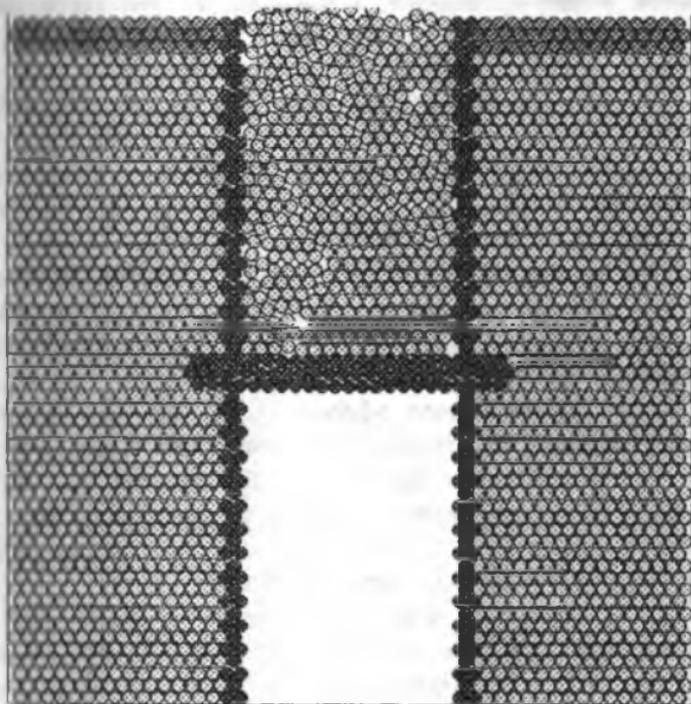


Рис. 1. Исходное состояние модели при использовании плоского перекрытия.

Толща пород представлена в виде однородных связанных элементов с прочностью на растяжение 40 МПа и на сдвиг 20 МПа. Слой поверхностных наносов мощностью 1,2 м имеет в два раза меньшую прочность, 20 МПа и 10 МПа соответственно. Плоское перекрытие размерами 9,6×1,2 м пригружено сверху насыпным материалом высотой 9 метров (см. рис. 1). Ко всем элементам модели приложена сила тяжести в виде ускорения свободного падения соответствующего $9,81\text{м/с}^2$.

В результате выполненного компьютерного моделирования установлено следующее. Через 20000 циклов моделирования (3 года) в результате воздействия растягивающих напряжений, начинается накопление поврежденности в перекрытии и возникают незначительные трещины разрыва.

Далее разрушения распространяются от перекрытия вниз (40000 циклов) и наряду с продолжающимися разрушениями мембраны начинается разрушение крепи ствола под ней в месте концентрации максимальных напряжений.

Провал перекрытия происходит при 160000 циклах и в результате несимметричности заполнения вначале с левой стороны, а затем с правой. Характерно, что разрушение мембраны сопровождается ростом разрушений в массиве на участках примыкающих к крепи ствола. Окончательное состояние модели, соответствующее 600000 циклов моделирования, показывает, что произойдет полный провал пробки и просыпание насыпного материала, а также разрушение крепи ствола и оседание поверхности в его окрестности (рис. 2). На рисунках черные точки показывают места возникновения разрушений от сдвига, а серые – от растяжения.

Исходное состояние модели с вариантом ликвидации ствола, использующем арочную мембрану показано на рис. 3. Следует отметить, что вследствие ограниченного числа элементов и достаточно крупного их размера не удалось смоделировать полноценную мембрану действительно арочной формы, а только получить некоторое её подобие, поэтому полностью исключить возникновение в ней растягивающих напряжений в данном варианте моделирования не удалось. Тем не менее эффект применения даже несовершенной арки очевиден. Например возникновение первых трещин в этом случае начинается только на 40000 циклов, т.е. в два раза позже, чем при плоском перекрытии. Провал мембраны тоже наступает гораздо позже, на 270000 циклов вместо 160000 циклов при плоском перекрытии (40,5 лет вместо 24).

Конечное состояние массива при использовании арочной мембраны соответствующее 600000 циклов моделирования представлено на рис. 4. На момент времени 90 лет происходит полный провал мембраны и разрушение расположенных ниже её прилегающих пород и крепи ствола, однако до поверхности на этот мо-

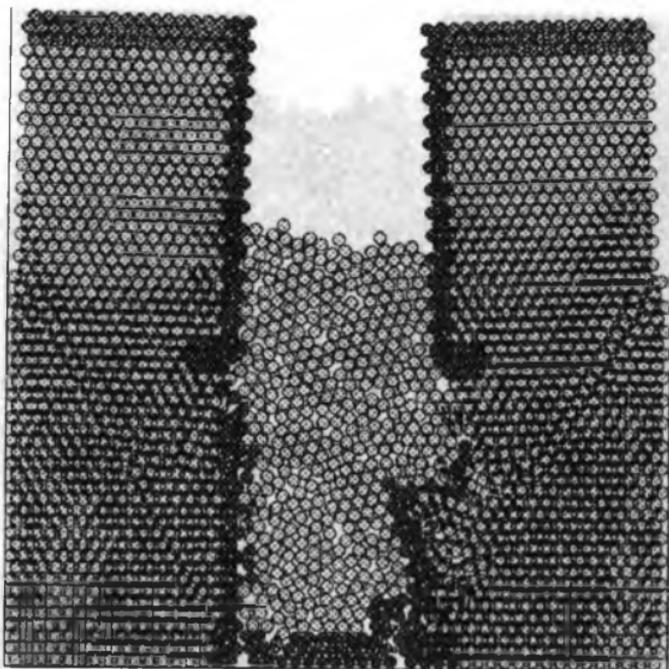


Рис. 2. Конечное состояние модели при использовании плоского перекрытия.

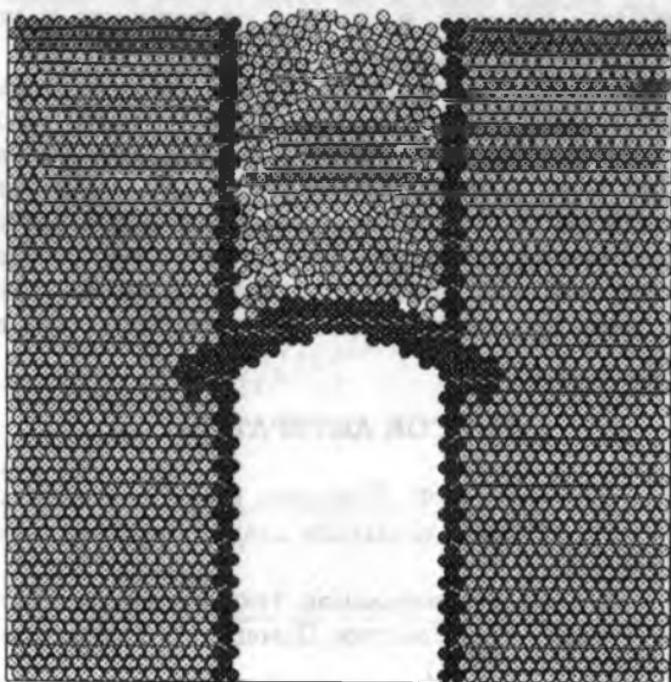


Рис. 3. Исходное состояние модели при использовании арочной мембраны.

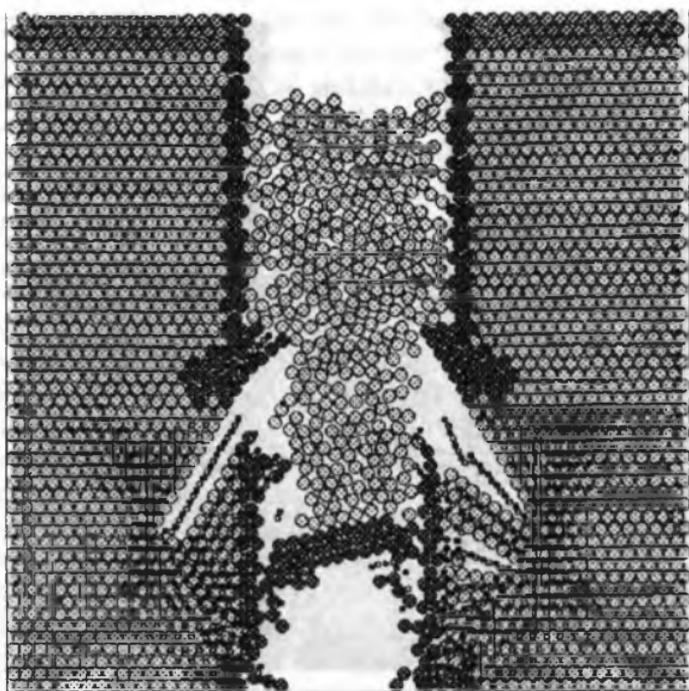


Рис. 4. Конечное состояние модели при использовании арочной мембраны.

мент времени они доходят, в отличие от варианта в котором используется плоское перекрытие.

Результаты выполненного моделирования длительных сдвижений пород в окрестности погашенного ствола показали, что применение предлагаемого варианта ликвидации ствола при помощи арочной мембраны позволят не только сэкономить значительные средства на выполнение этих мероприятий, но и в 1,7 раза увеличить долговечность породной пробки, предохраняющей поверхность в окрестности ствола от оседания. За счет этого можно значительно повысить экономичность и безопасность выполняемых мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циганек И, Ярембаш И.Ф., Пилюгин В.И. Проблемы ликвидации вертикальных стволов угольных шахт. Уголь Украины, -№2, - 1998. - С. 54-56.
2. Звягильский Е.А. Рациональная технология погашения вертикального ствола. // Известия Донецкого горного института, - №2(8). - 1998. - С. 28-31.
3. Cundall P.A., Strack O.D.L. A discrete numerical Model for granular assemblies//Geotechnique, 29, #1, pp. 47-65.