

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

На основі чисельного моделювання методом скінченних елементів напружено-деформованого стану породного масиву навколо сполучення підготовчої та очисної виробки обґрунтовані раціональні параметри комплексу заходів щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких вугільних шахт.

На основе численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности сопряжения подготовительной и очистной выработок обоснованы рациональные параметры комплекса мероприятий по обеспечению устойчивости подготовительных выработок глубоких угольных шахт.

Based on numerical simulations using finite element method of stress-strain state of rock massif in the vicinity of the conjugation of preparatory workings and coal-face area there are proved the rational parameters of a set of measures to ensure the stability of development workings of deep coal mines.

**Введение.** Охрана горных выработок – это комплекс горнотехнических мероприятий, направленных на обеспечение сохранности выработки в соответствии с техническими условиями безопасной ее эксплуатации в течение всего срока службы.

Устойчивость породных обнажений и крепи охраняемых подготовительных выработок зависит от ряда геологических и горно-технических факторов: физико-механических свойств пород, угла падения и мощности пласта, трещиноватости пород, глубины заложения, формы сечения и расположения охраняемой выработки, по отношению к очистным выработкам и т.д. Но главными факторами, влияющими на сохранность выработки, как известно, являются напряженное состояние вмещающих пород и значения их физико-механических характеристик.

Можно выделить три основных направления по охране выработок: упрочнение слабых пород; разгрузка массива от избыточных напряжений; возведение искусственных сооружений, крепей за пределами контура выработки для управления состоянием массива вмещающих выработку пород. Мероприятия по охране выработок могут выполняться: заблаговременно (упрочнение массива пород, разгрузка массива от избыточных напряжений путем подрботки трассы выработки); в период сооружения выработки (упрочнение массива пород, разгрузка от избыточных напряжений из сооружаемой выработки вслед за продвижением забоя); в период эксплуатации (тампотаж закрепного пространства, упрочнение пород, возведение искусственных ограждений за пределами контура выработки с целью сохранения ее для повторного использования).

Успешное решение вопроса обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зоне влияния лавы и повторного их использования может быть достигнуто при применении комплексного способа обеспечения их устойчивости.

Обоснование параметров способа охраны и поддержания подготовительных выработок сводится к изучению закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива пород и определению ожидаемых смещений породного контура выработки, что предопределяет соответствующие величины: размеры охранного элемента, количество и места установки анкеров.

Способы охраны подготовительных выработок, существующие на сегодняшний день, малоэффективны. Поэтому разработка новых способов охраны и поддержания выработок в изменяющихся горно-геологических условиях, обоснование параметров этих способов на основе изучения закономерностей взаимодействия системы “крепь-охранная конструкция-породный массив” является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение.

**Целью работы** является изучение закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при осуществлении предложенных мероприятий и обоснование рациональных параметров способа охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния лавы.

**Материалы и результаты исследований.** Для создания эффективных способов поддержания и охраны подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ должны быть установлены закономерности геомеханических процессов, протекающих в районе выемочных штреков.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива в окрестности подготовительной выработки может быть получено путем применения методов механики сплошной среды, механики дискретной среды, на основе экспериментально-аналитических методов, использующих закономерности, полученные экспериментальным путем в сочетании с аналитическими решениями. Выбор расчетного метода определяется принятой гипотезой горного давления и соответствующей моделью среды.

Задача решалась в два этапа. На первом этапе методом конечных элементов моделировалась подготовительная выработка вне зоны влияния очистных работ, горно-геологические условия шахты “Шахтерская-Глубокая”, с линейными размерами: ширина – 5 м, высота – 3,5 м, мощность пласта – 1,5 м, расположена на глубине 1380 м, что соответствует горному давлению 34,5 МПа. Были рассмотрены 5 характерные ситуации:

1. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью. Расчетная схема на рис. 1, а.

2. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и один анкер в боку со стороны восстания. Наличие анкера в породной среде моделировалось таким образом. Сначала решалась упругопластическая задача для выработки арочной формы без крепи. Для этого случая устанавливались радиальные перемещения вокруг выработки. Далее радиальные перемещения на расстоянии, которое равняется длине анкера –  $U_a$ , принималось постоянным по всей его длине до контура выработки, то есть до точки установки анкера. Анкер, т.е. стержень определенной длины и радиусом 2,4 см, моделировался специальным линейным стержневым элементом. Модуль упругости

и коэффициент Пуассона материала стержня приняты соответственно  $E_{анк}=2 \cdot 10^6$  МПа и  $\mu_{анк} = 0,35$ .

3. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и два анкера один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения.

4. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и три анкера один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения и один в кровле. Расчетная схема на рис. 1, б.

5. Подготовительная выработка в массиве, закрепленная арочной податливой крепью и четыре анкера один в боку со стороны восстания, второй в боку со стороны падения и два в кровле. Конечно-элементная аппроксимация на рис. 2.

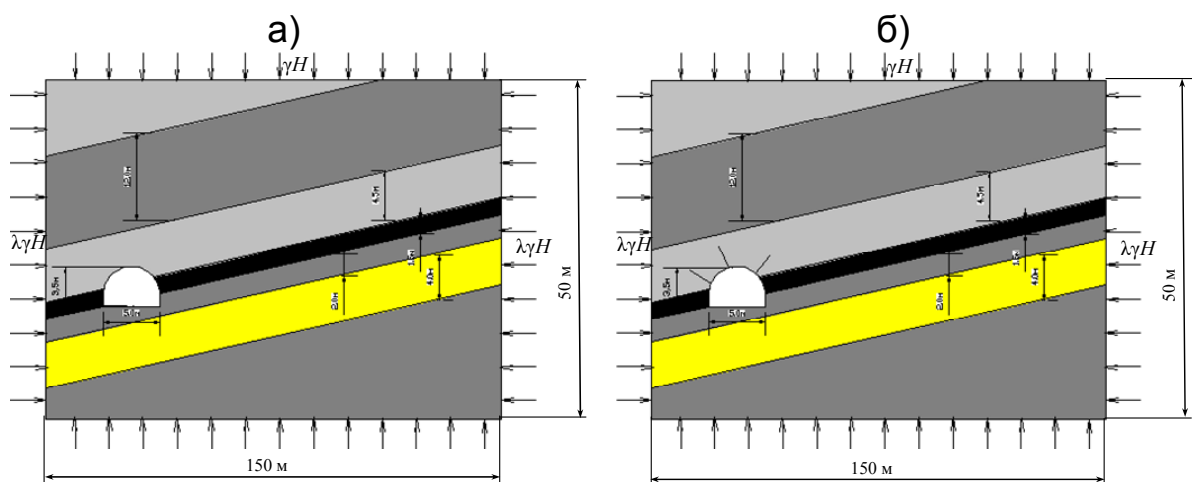


Рис. 1. Расчетные схемы рассматриваемых задач: а) сит. 1, б) сит. 4

Как видно из рис. 2, для разбиения области применяются линейные четырехугольные плоские элементы. Различными цветами показана слоистость горного массива и анкера.

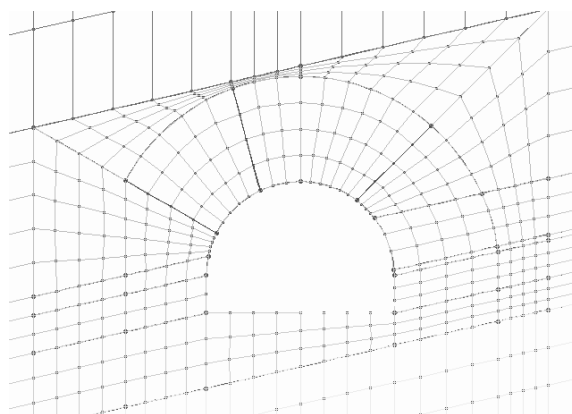


Рис. 2. Конечно-элементная аппроксимация расчетной схемы

На основе анализа компонентов тензора напряжений в центре и узлах конечных элементов выполнялась качественная и количественная оценка изменений, которые вносит в напряженное состояние приконтурного массива введе-

ние укрепляющих элементов (анкеров). Наиболее комплексную оценку этих изменений дает картина распределения относительной величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки, которая приведена на рис. 3.

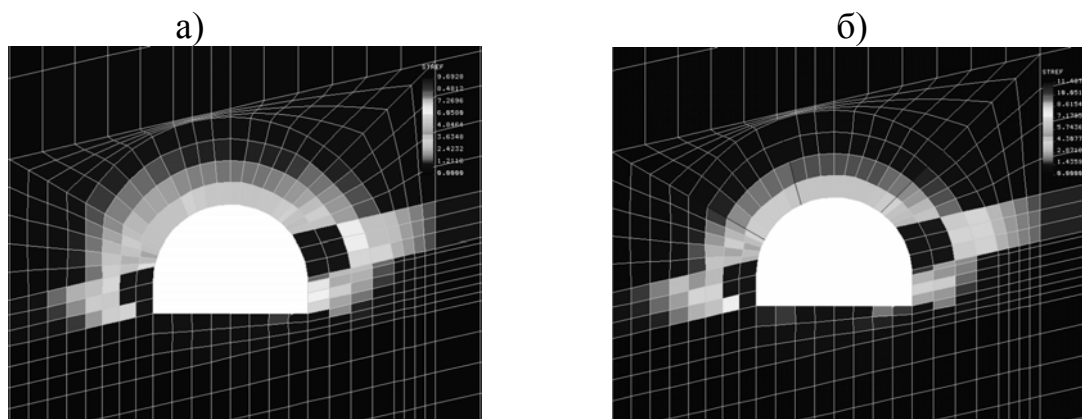


Рис. 3. Картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки: а) сит. 1, б) сит. 4

Напряжения в кровле подготовительной выработки при различных ситуациях практически равны, наблюдается незначительное снижение при увеличении анкеров.

На рис. 4 прилегающие к выработкам зоны разрыхления показаны синим цветом. Поскольку критерий разрыхления определен для конечного элемента в целом, границы зоны совпадают с границами соответствующих элементов. Ввиду некоторой грубости разбиения вдали от выработки границы зоны недостаточно гладкие. Тем не менее, рис. 4 дает представление об общей форме и размерах области разрыхления.

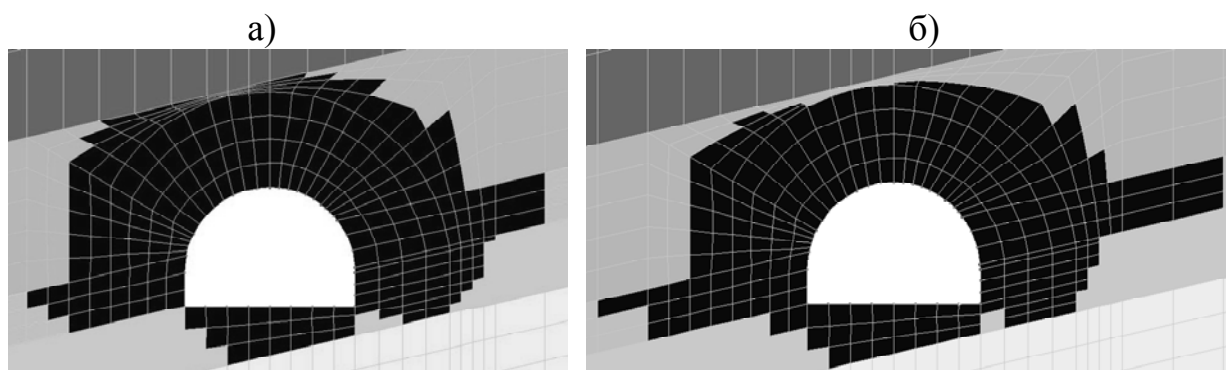


Рис. 4. Прилегающая к выработке зона разрыхления: а) сит. 1, б) сит. 4

Усредненные относительные радиусы разрыхления вокруг подготовительной выработки практически одинаковы и составляют: ситуация 1 – 2,45, ситуация 4 – 2,41. Установка анкеров не влияет на величину внешнего радиуса зоны разрыхления.

На рис. 5 приведена картина неоднородности зон полных перемещений различного уровня в окрестности подготовительной выработки. Уровни перемещений (в метрах) даются на цветной шкале справа.

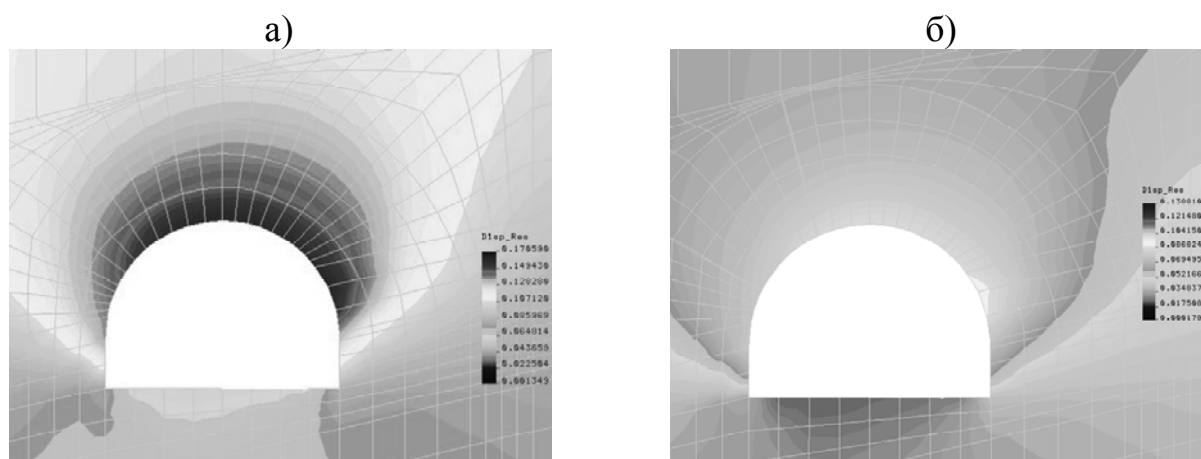


Рис. 5. Картина распределения полных перемещений: а) сит. 1, б) сит. 4

Использование рамно-анкерной крепи (сит. 4) по сравнению с рамной крепью (сит. 1) уменьшает смещения кровли на 46%, почвы на 71%, боков выработки на 40% и 36%.

Для определения параметров установки анкеров было исследовано более 20 моделей. Критерий оценки работоспособности анкеров – величина изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке. Варьировались углы наклона анкеров к горизонту, места установки и количество анкеров.

По результатам численных расчетов построены зависимости изменения смещений в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемой ситуации (рис. 6...8).

Из рис. 6 и 7 видно, что увеличение количества анкеров (сит. 4 и 5) не приводит к значительному улучшению геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки, поэтому ситуация 4 принят как наиболее рациональный способ поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”. Достаточная длина анкера составила 3 м (рис. 7), что достаточно хорошо совпадает с лабораторными результатами.

Параметры способа поддержания подготовительной выработки вне зоны влияния лавы в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”: арочная крепь, один анкер (длиной 3 м) в боку со стороны падения на высоте 2 м от почвы под углом  $25...35^{\circ}$  к горизонтали, второй анкер в боку со стороны восстания на высоте 3 м от почвы под углом  $130...140^{\circ}$  и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом  $70...80^{\circ}$  (рис. 6...8).

На втором этапе методом конечных элементов моделировалась подготовительная выработка в зоне влияния очистных работ, с теми же линейными размерами, что и на первом этапе. Для исследования были определены 2 основные ситуации (7 вариантов):

1. Подготовительная выработка, закрепленная арочной податливой крепью при проходе лавы (вар. 1) (рис. 9, а).

2. Так как и в ситуации 1, только со стороны лавы установлено охранное ограждение из железобетонных плит шириной 0,5...3 м (вар. 2-7) (рис. 9, б).

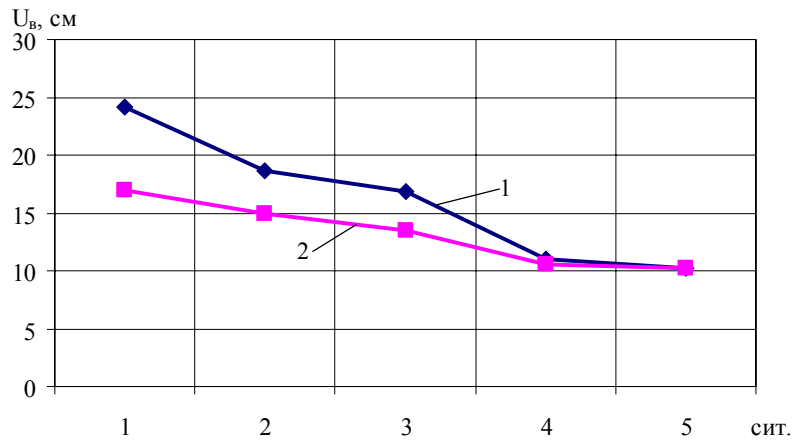


Рис. 6. Зависимость изменения вертикальной (1) и горизонтальной конвергенции (2) в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемой ситуации при длине анкера 3 м

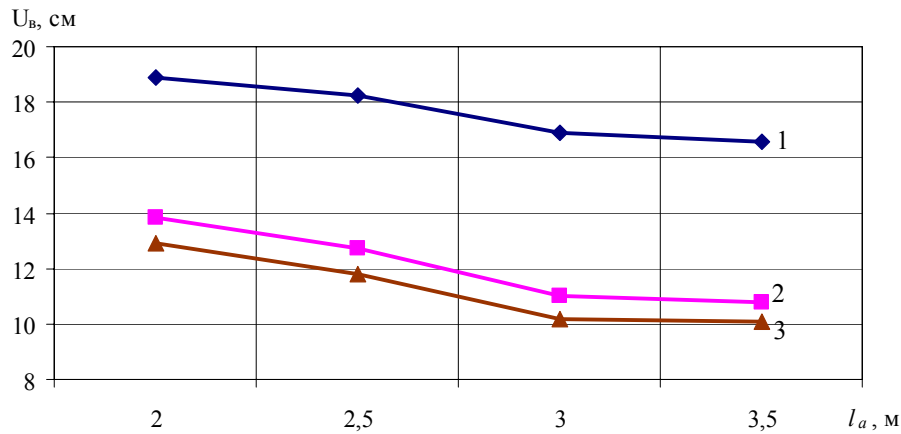


Рис. 7. Зависимость изменения вертикальной конвергенции в подготовительной выработке в зависимости от длины анкера (1 – сит. 3, 2 – сит. 4, 3 – сит. 5)

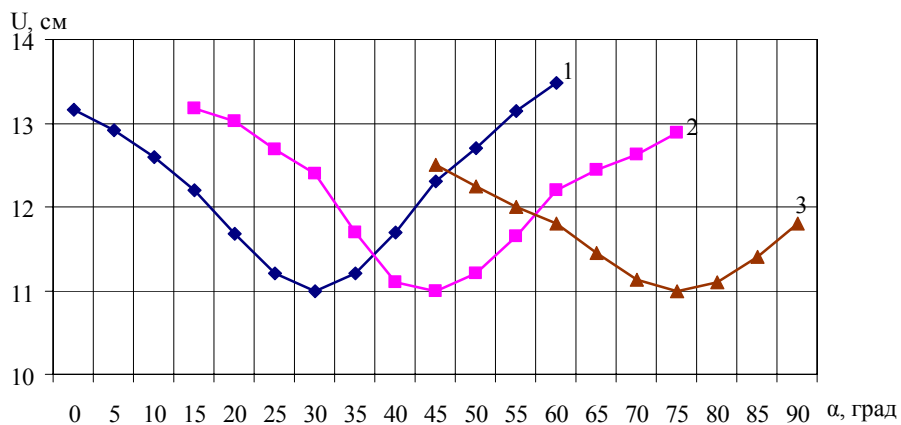


Рис. 8. Зависимость изменения смещений контура подготовительной выработки в зависимости от угла установки анкеров (сит. 4): 1 – со стороны падения, 2 – со стороны восстания, 3 – в кровле

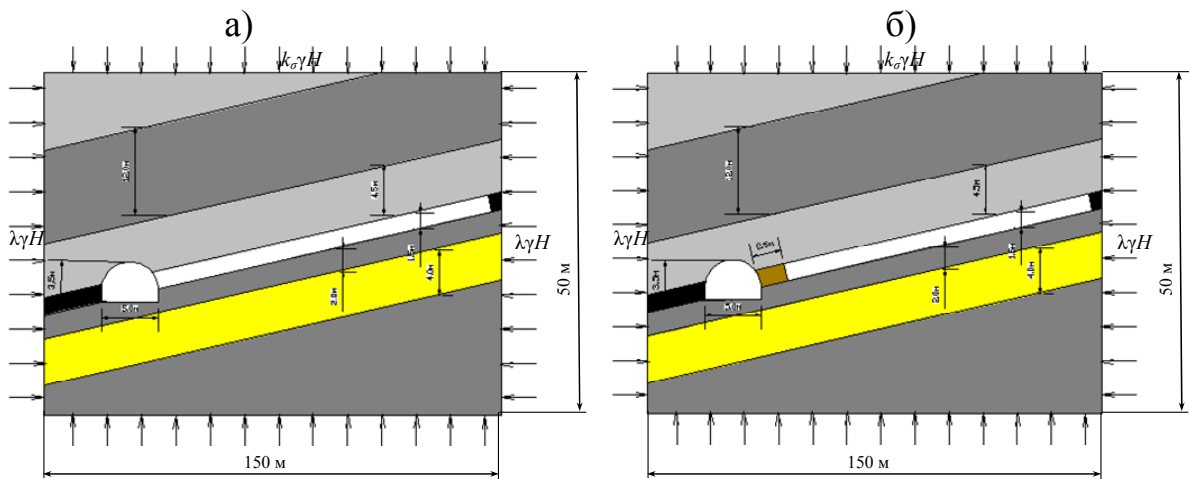


Рис. 9. Расчетные схемы рассматриваемых задачи: а) вар. 1, б) вар. 6

По результатам численных расчетов приведены распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки (рис. 10), распределения полных перемещений (рис. 11) и построены зависимости изменения смещений в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемых вариантов (рис. 12).

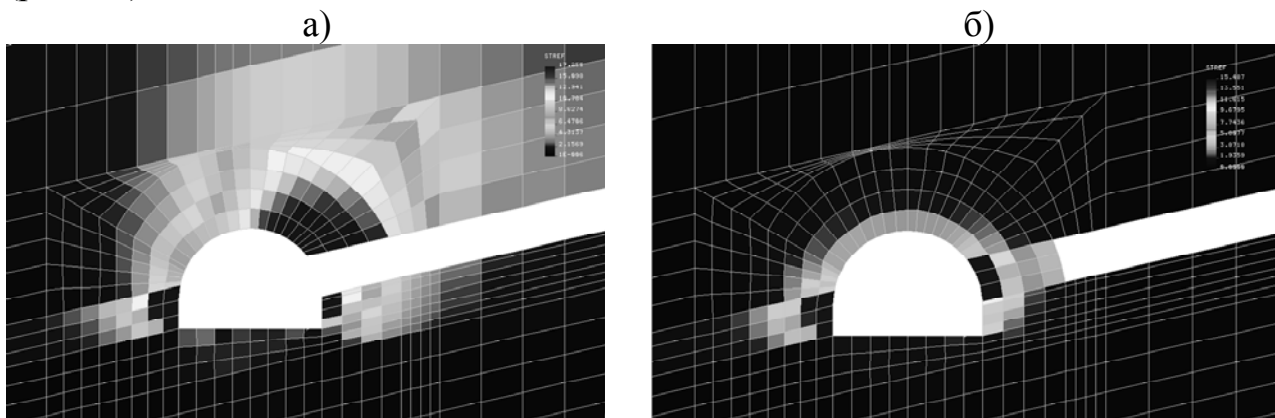


Рис. 10. Распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности подготовительной выработки: а) вар. 1, б) вар. 6

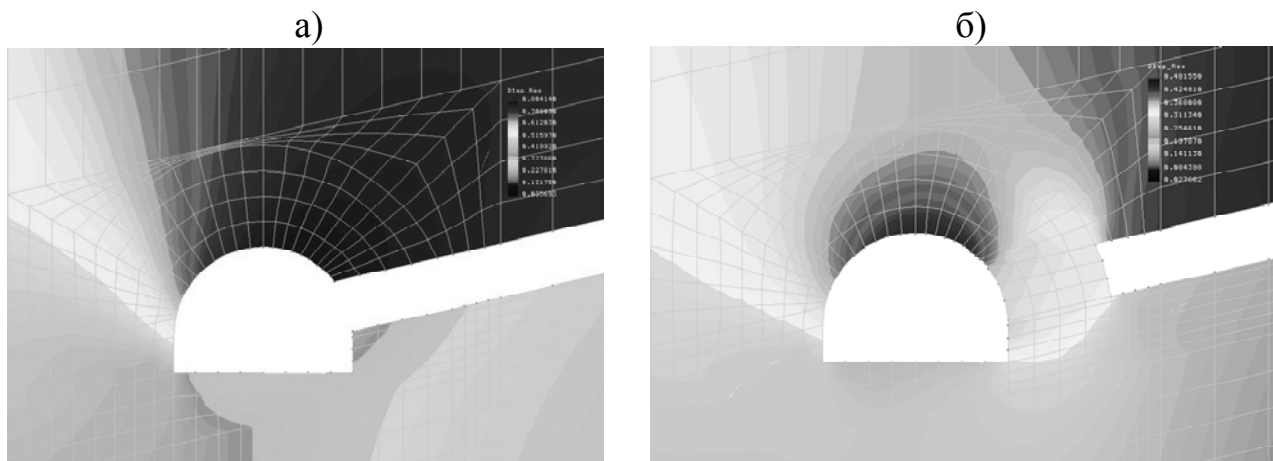


Рис. 11. Картина распределения полных перемещений: а) вар. 1, б) вар. 6

Наличие очистной выработки приводит к значительному увеличению напряжений на контуре и сопряжении подготовительной выработки и очистного забоя (рис. 10, а), а наличие охранного элемента снижает – практически в 3 раза (рис. 10, б).

При наличии лавы относительный радиус разрыхления резко возрастает, а установка охранного элемента приводит к уменьшению зоны разрушенных пород над подготовительной выработкой практически в 3 раза. Охранный элемент при ширине до 2 м разрушается, при большей – остается неразрушенным.

Как видно из рис. 11 точка максимальных смещений пород кровли подготовительной выработки смещается от сопряжения к центру выработки и при наличии охранного элемента снижается практически вдвое.

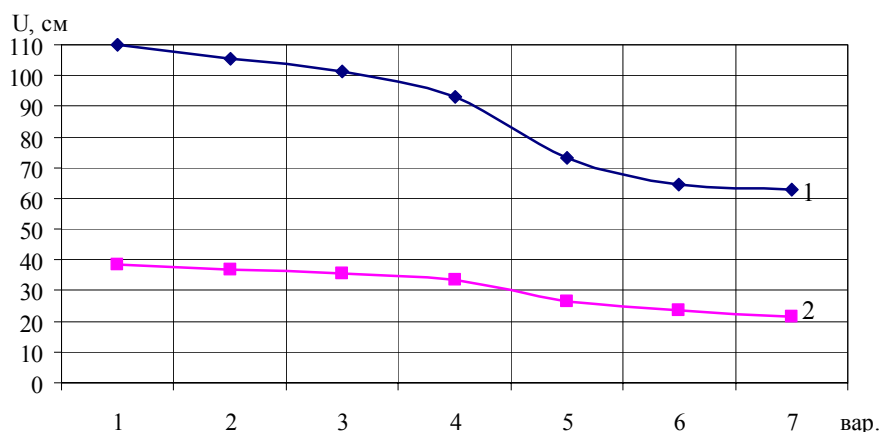
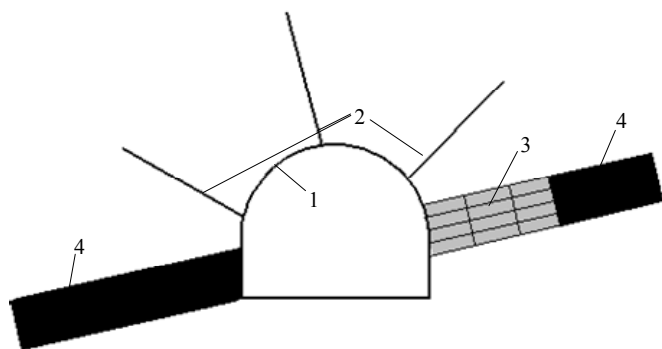


Рис. 12. Зависимость изменения вертикальной (1) и горизонтальной конvergенции (2) в подготовительной выработке в зависимости от рассматриваемого варианта

Анализ рис. 10...12 показывает, что при ширине охранной конструкции более чем 2,5 м изменения величин конvergенций незначительны, поэтому наиболее рациональным способом охраны и поддержания подготовительных выработок в зоне влияния лавы для данных условий является вариант 6.

На основе выполненных расчетов предложен новый способ повышения устойчивости подготовительных выработок в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая” (рис. 13).



Он заключается в том, что выработку проводят широким забоем, с формированием расколки со стороны восстания, в ней устанавливают охранную конструкцию из железобетонных плит, возводят арочную крепь с усилением тремя анкерами.

Рис. 13. Схема нового способа повышения устойчивости подготовительных выработок на больших глубинах: 1 – арочная крепь; 2 – анкерная крепь; 3 – охранный элемент из железобетонных плит; 4 – лавы.



**Выводы.** Для условий шахты “Шахтерская-Глубокая” наилучшей комбинацией технических решений, обеспечивающих реализацию предложенного способа при котором уменьшается величина горизонтальной и вертикальной конвергенции в выработке на 50% является совмещение ситуации 4 и варианта 6, описанных в данной работе. Рекомендуемые параметры способа: арочная податливая крепь + дополнительно установлены: один анкер ( $l_a = 3$  м) со стороны падения на высоте 2 м от почвы под углом  $30^0$  к горизонтали; второй анкер со стороны восстания на высоте 3 м от почвы под углом  $135^0$  и третий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом  $75^0$ , со стороны будущей лавы в раскосе установлено ограждение из железобетонных плит шириной 2,5 м.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.  
Надійшла до редакції 07.04.10*

УДК 622.647.2

© Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУНКЕРА С БОКОВЫМ ЩЕЛЕВЫМ ВЫПУСКНЫМ ОТВЕРСТИЕМ С ПОМОЩЬЮ ВИБРАЦИИ**

На основе теории виброразрежения получен эффективный коэффициент внутреннего трения сыпучего груза в зависимости от параметров вибрации. Показано, что при боковой вибрации бункера с боковым щелевым выпускным отверстием можно существенно увеличить производительность выпуска груза из бункера.

На основі теорії віброзріджування одержано ефективний коефіцієнт внутрішнього тертя сипких вантажів залежно від параметрів вібрації. Показано, що при боковій вібрації бункера з боковим щілинним випускним отвором можна істотно збільшити продуктивність випуску вантажу з бункера.

On the basis of theory of vibrosignify the effective coefficient of internal friction of friable loads depending on the parameters of vibration is got. It is shown, that during lateral vibration of bunker with a lateral crack tape-hole it is possible substantially to multiply efficiency of output of load from a bunker.

**Вступление.** В перегрузочных узлах подземных ленточных конвейеров угольных шахт получили применение усредняющие бункеры с боковым щелевым отверстием. Эти бункеры, по сравнению с бункерами с горизонтальным щелевым выпускным отверстием, легче в управлении, так как нагрузка на регулируемую заслонку значительно меньше. Поэтому они могут быть эффективно использованы для усреднения грузопотоков, поступающих от высоконагруженных лав угольных шахт.

Однако, как показали исследования [1-2], коэффициент расхода у этих бункеров в три раза меньше по сравнению с бункером с горизонтальным щелевым выпускным отверстием с той же шириной отверстия.

Основной причиной снижения производительности бункера с боковым щелевым выпускным отверстием является образование застойной зоны сыпуче-