

УДК 622.25(06)

**М.С. Плешко****ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ**

*Рассмотрено взаимодействие крепи вертикального ствола с неоднородным породным массивом. Установлены закономерности влияния основных факторов на распределение напряжений в бетоне крепи. Сделаны выводы о механизме управляющих воздействий.*

*Ключевые слова: участок переслаивания, призабойное пространство, трещинообразование, бетонная крепь.*

**А**нализ горно-геологических условий проходки стволов в Донбассе показывает, что породный массив представлен участками переслаивания глинистых, песчано-глинистых сланцев, песчаников и известняков с пластами и пропластками углей. Прочностные показатели слоев различаются между собой на 30 % и более и имеют мощность от 0,1 до 5 м. Ряд слоев являются весьма нарушенными и имеют очень низкие физико-механические характеристики по сравнению с основной породной толщей.

В связи с этим рассмотрим расчетный случай работы монолитной бетонной крепи в призабойной зоне ствола, вмещающей «слабый» породный слой со следующими характеристиками: модуль деформации  $E_{сл} = 1 \cdot 10^3$  МПа, коэффициент поперечной деформации  $\nu_{сл} = 0,4$ . Мощность породного слоя изменяется в пределах  $m = 1 - 5$  м, угол падения слоя  $\alpha = 0 - 45^\circ$ .

Остальные параметры системы и диапазон из варьирования приняты по усредненным данным проходок стволов в Донбассе.

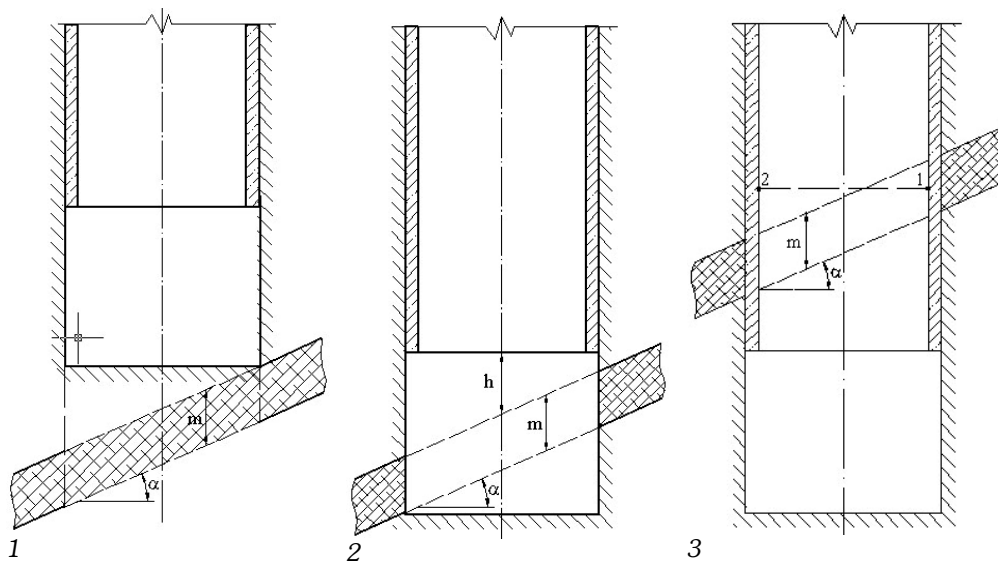
При проведении исследования выделено три характерных положения «слабого» слоя в призабойном про-

странстве ствола (рис. 1). По каждому положению разработана объемная конечно-элементная модель, в результате расчета которых определялись все компоненты тензора деформаций и напряжений в различных условиях.

Анализ напряженно-деформированного состояния рассматриваемой системы показывает, что наличие «слабого» слоя приводит к возникновению концентраций главных горизонтальных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в примыкающих к нему участках более прочных пород, а также увеличивает интенсивность радиальных смещений на контуре ствола, а соответственно и нагрузок на крепь в зоне влияния «слабого» слоя.

Для оценки количественного влияния «слабого» слоя на напряжения в монолитной бетонной крепи используем параметр  $\sigma_{отн}$ , определяемый как отношение  $\sigma_{1плл} / \sigma_1$ , где  $\sigma_{1плл}$  – максимальные главные напряжения в крепи в зоне влияния слабого слоя,  $\sigma_1$  – аналогичные напряжения при взаимодействии крепи с однородным массивом.

Анализ результатов расчета моделей при нахождении «слабого» слоя в положении 1 показывает, что его влияние на интенсивность напряжений в ближайшей к забою заходке



**Рис. 1. Схема рассматриваемых расчетных случаев размещения «слабого» слоя в призабойном пространстве ствола**

крепю незначительно. Увеличение напряжений  $\sigma_1$  в крепи составляет порядка 4 — 5 % и практически не зависит от мощности слабого слоя, отношения  $G_0/G_{пл}$ , где  $G_0$  — модуль сдвига основного массива пород, а также других параметров системы.

В положении 2 влияние «слабого» слоя на крепь ствола значительно возрастает.

Динамика данного процесса проиллюстрирована на рис. 2 и 3, где представлена зависимость  $\sigma_{отн}$  от расстояния  $h$  рассматриваемого сечения бетонной крепи до верхней отметки «слабого» слоя, а также от мощности «слабого» слоя  $m$ . Графики построены по данным, полученным при глубине участка 500 м, модуле деформации основного породного массива  $15 \cdot 10^3$  МПа. В графике, рассмотренном на рис. 2, мощность слабого слоя составила 2 м, расстояние  $h$  при построении графика на рис. 3 равно нулю.

Аналогичные данные получены и при других параметрах рассматриваемой

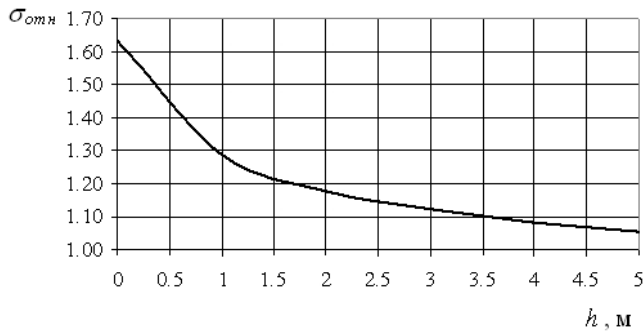
системы. Их обработка показывает, что в положении 2 зависимость увеличения интенсивности максимальных главных напряжений в крепи от расстояния до слабого слоя имеет гиперболический характер, а от мощности «слабого» слоя — параболический характер.

При непосредственном контакте слабого слоя с крепью (положение 3) происходит резкое увеличение главных нормальных тангенциальных напряжений  $\sigma_1$  в крепи, взаимодействующей со «слабым» слоем.

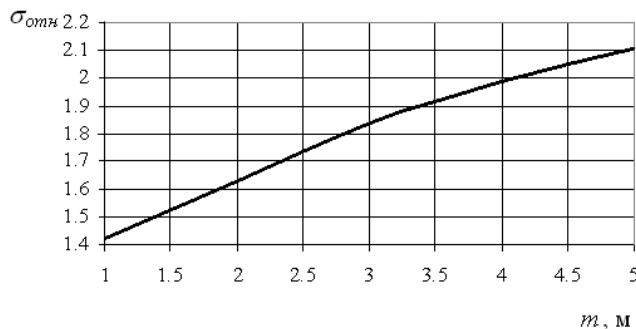
В зонах крепи, контактирующих с прочными слоями в местах примыкания к «слабому» слою, развиваются значительные изгибные деформации, приводящие к образованию зон растягивающих радиальных напряжений в крепи и последующему ее разрушению вследствие трещинообразования.

Зависимость параметра  $\sigma_{отн}$  от мощности «слабого» слоя, а также отношения  $G_0/G_{пл}$  представлена на рис. 4 и 5.

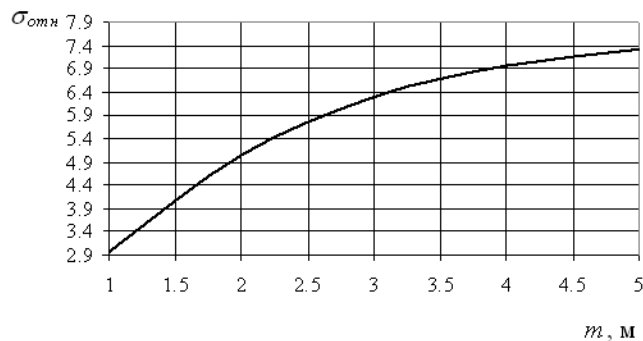
Обработка данных показывает, что при нахождении «слабого» слоя в по-



**Рис. 2. Зависимость параметра  $\sigma_{отн}$  от расстояния рассматриваемого сечения крепи до верхней отметки «слабого» слоя**



**Рис. 3. Зависимость параметра  $\sigma_{отн}$  от мощности «слабого» слоя в положении 2**



**Рис. 4. Зависимость параметра  $\sigma_{отн}$  от мощности «слабого» слоя в положении 3**

положении 3 в контактирующей с ним монолитной крепи происходит увеличение интенсивности максимальных напряжений: при увеличении мощности «слабого» слоя — по параболической зависимости, при увеличении отношения  $G_0/G_{пл}$  по линейной зависимости.

сти слоя  $m=1$  м и  $m=3$  м. Графики построены по результатам расчета, полученным при глубине участка 500 м, модуле деформации основного породного массива  $15 \cdot 10^3$  МПа.

Анализ данных показывает, что в диапазоне  $\alpha=0—25^\circ$  асимметрия на-

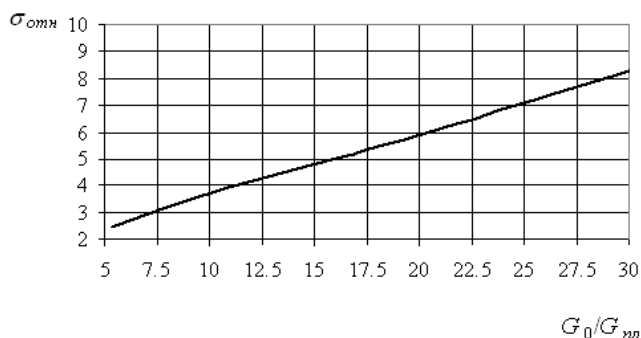
При взаимодействии монолитной бетонной крепи со «слабым» слоем, имеющим наклонное залегание, в кольце крепи возникает значительная асимметрия главных тангенциальных напряжений с образованием локальных зон концентраций, а также увеличение участков растягивающих радиальных напряжений в примыкающих к слабому слою колец крепи.

Для количественной оценки величины асимметрии напряжений определим коэффициент неравномерности  $k_H$

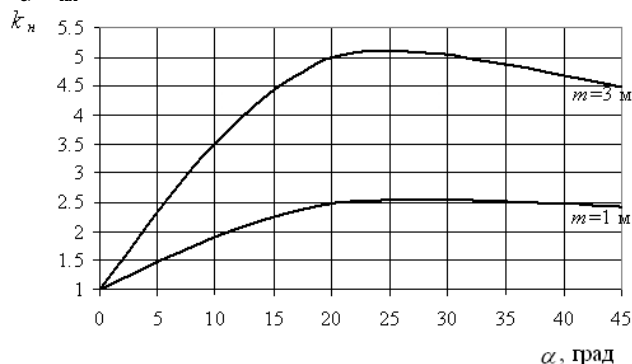
$$k_H = \frac{\sigma_{11}}{\sigma_{12}};$$

где  $\sigma_{11}$  — величина максимальных напряжений в монолитной бетонной крепи в точке 1 (см. рис. 1);  $\sigma_{12}$  — величина максимальных напряжений в монолитной бетонной крепи в точке 2 (см. рис. 1), расположенной на одинаковой с точкой 1 высотной отметке с противоположной относительно падения «слабого» слоя стороны сечения ствола.

На рис. 6 рассмотрена зависимость коэффициента  $k_H$  от угла падения «слабого» слоя  $\alpha$ , при мощно-



**Рис. 5. Зависимость параметра  $\sigma_{отн}$  от отношения  $G_0/G_{пл}$**



**Рис. 6. Зависимость коэффициента  $k_n$  от угла залегания «слабого» слоя**

пряжений в сечении крепи возрастает по гиперболической зависимости, с достижением максимума при величине  $\alpha=25^{\circ} - 30^{\circ}$ , далее наблюдается небольшой спад значений коэффициента  $k_n$  с последующим их выравниванием.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

В положении 1 «слабый» слой не оказывает значительного влияния на напряженно-деформированное состояние монолитной бетонной крепи независимо от его мощности, угла падения и других параметров.

В положении 2 возможно увеличение интенсивности напряжений в крепи 1,5 — 2 раза и более, возрастающее с увеличением мощности слоя

и уменьшением расстояния от него до нижней грани бетонной крепи.

В случае непосредственного контакта крепи со «слабым» слоем увеличение интенсивности напряжений в крепи может достигать 7 — 10 кратных значений и определяется мощностью слабого слоя и отношением  $G_0/G_{пл}$ . Изменение угла залегания пласта не приводит к росту максимальных напряжений в крепи, однако увеличивает размер зоны влияния «слабого» слоя и вызывает значительную асимметрию распределения напряжений в сечении крепи ствола.

Из результатов исследования следует, что наиболее эффективными управляющими воздействиями, направленными на уменьшение влияния «слабого» слоя на крепь ствола при совмещенной технологической схеме, следует признать опережающее упрочнение слабого слоя до его обнажения при проходке ствола, а также контактирующих с ним участков более прочных пород и при необходимости самой крепи.

Практическая реализация таких управляющих воздействий состоит в использовании опережающей анкерной крепи, устанавливаемой из забоя ствола по его периметру под углом к вертикальной оси выработки, «сшивающей» прочные и «слабый» слой, с последующим усилением охранной конструкции после обнажения слабого слоя; а также повышением физико-механических свойств бетона крепи. **ПЛАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Плешко Михаил Степанович – кандидат технических наук, доцент, доцент, mspleschko@rambler.ru, Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института).