

УДК 622.834:622.273.21

к.т.н. Павлов Е. Е.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗАБУТОВКИ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПАССИВНЫЙ ОТПОР ПОРОД ВОКРУГ ВЫРАБОТОК

Методом конечных элементов изучены закономерности изменения величины и зон пассивного отпора рамной крепи горной выработки при различных схемах нагружения в зависимости от изменения плотности забутовки закрепного пространства.

Ключевые слова: подготовительная выработка, арочная крепь, закрепное пространство, пассивный отпор, коэффициент постели, метод конечных элементов.

При проведении подземных горных выработок неотъемлемой частью процесса крепления является забутовка различными материалами (дроблёная горная порода, сыпучие материалы, тампонажные растворы, вспенивающиеся податливые пены и др.) закрепного пространства, т. е. пространства между контуром горной выработки и рамной крепью. Забутовка необходима для передачи нагрузок со стороны массива горных пород на крепь и обеспечения требуемой работоспособности рамной крепи. На работоспособность существенно влияет качество заполнения закрепного пространства, которое напрямую зависит от механизации процесса крепления. Как показали исследования [1], вокруг крепи выработки часто забутовки закрепного пространства нет или наблюдается её плохое качество, т. к. заполнение пустот в закрепном пространстве не механизировано, а выполняется вручную.

В работе [2] представлен способ, который обеспечивает равномерное заполнение пустот закрепного пространства и повышает работоспособность крепи. Сущность способа взрывной разгрузки пород кровли (ВРПК) состоит в том, что за счёт правильного размещения разгрузочных шпуров вокруг выработки можно обеспечить различные схемы нагрузок на рамную крепь со стороны массива: равномерно распределённую (рис. 1, а), параболическую (рис. 1, б) и нагрузку по закону треугольника (рис. 1, в), когда максимальное нагружение происходит на стойки крепи, а минимальное — в центре верхняка.

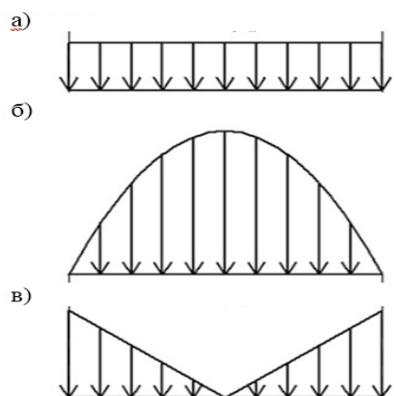


Рисунок 1 Схемы распределения нагрузки на арочную крепь

В процессе проявлений горного давления по мере роста смещений пород кровли в той части периметра рамы крепи, которая смещается в сторону массива и вступает в контакт с ним через забутовку закрепного пространства, возникает пассивный отпор пород. Последний препятствует деформациям крепи и тем самым значительно повышает её работоспособность.

В работе [3] исследовано влияние пассивного отпора пород на работоспособность арочной рамной крепи. Автор отмечает, что рамная крепь выработок одной и той же конструкции может иметь, в зависимости от реализованной схемы приложения со стороны массива пород внешней нагрузки и обеспечения плотности контактов через забутовку закрепного пространства, необычайно широкий диапазон колебаний работоспособности.

До настоящего времени не раскрыт вопрос, как влияет плотность забутовки закрепного пространства на пассивный отпор пород вокруг выработок при различной схеме нагружения на рамную крепь, поэтому целью исследований является установление закономерности изменения пассивного отпора пород вокруг выработки при создании забутовки закрепного пространства способом взрывной разгрузки пород кровли. Задача исследования — изучение влияния плотности забутовки при различных схемах нагружения рамной крепи на область и величину изменения пассивного отпора пород. Объект исследования — пассивный отпор пород в условиях изменяемой плотности закрепного пространства и различного нагружения со стороны массива пород на рамную крепь, а предмет исследования — закономерности изменения пассивного отпора пород от разгруженной зоны при различных схемах нагружения на рамную крепь.

Для решения поставленных задач использовался метод конечных элементов, реализуемый с помощью программного комплекса «Лира». Свойства породной забутовки выражались через модель коэффициента постели, или модель Винклера.

Коэффициент постели иногда называют модулем упругости основания. Другими словами, забутовку закрепного пространства, которая слагается из разрушенных пород массива, можно рассматривать как совокупность близко расположенных независимых упругих пружин заданной жёсткости. Следовательно, коэффициент постели приравнивается к жёсткости пружин 1 (рис. 2) и является мерой жёсткости забутовки закрепного пространства, которая представляет собой разрушенные взрывом породы. Подобная идеализация вполне допустима и широко применяется в инженерной практике, в частности при решении задач об изгибе балок на упругом основании.

Основное допущение модели Винклера отражается известной пропорциональной зависимостью

$$q(\alpha) = k_{\Pi} \cdot U(\alpha), \quad (1)$$

где $q(\alpha)$ — нормальное давление на грунтовое основание в точке по углу α (рис. 2), Н/м²; k_{Π} — коэффициент постели, характеризующий жёсткость упругого основания, Н/м³=Па/м; $U(\alpha)$ — осадка основания в точке по углу α плоскости контакта рамы и основания, м.

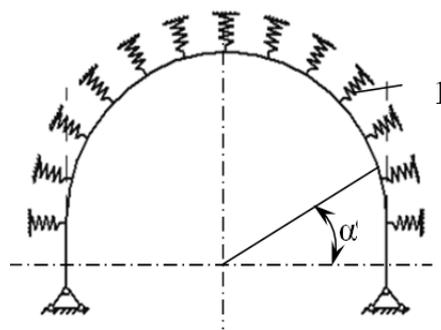


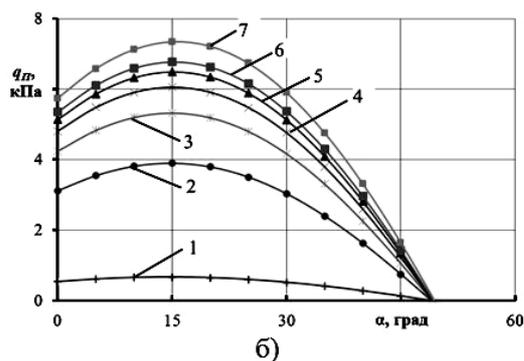
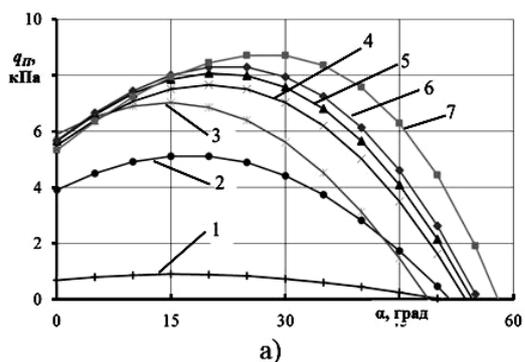
Рисунок 2 Расчётная схема крепи с пассивным отпором пород

При исследовании влияния пассивного отпора на работоспособность арочной крепи авторами работы [3] принят диапазон изменения коэффициента постели k_{Π} в пределах от 0 МПа/м (отсутствие забутовки и отпора пород) до 5 МПа/м. Дальнейшее увеличение жёсткости забутовки (более 5 МПа/м) не сказывалось на несущей способности крепи. На данном этапе исследований принимается простейший случай однородной жёсткости забутовки, когда коэффициент постели k_{Π} в зоне забутовки, состоящей из разрушенных пород, одинаков и колеблется от 0 МПа/м до 5 МПа/м.

На графиках (рис. 3, 4) показано, как изменяется пассивный отпор пород q_{Π} по контуру крепи от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 90^\circ$ (см. рис. 2) в зависимости от разгруженной от напряжений зоны пород. Так, при сосредоточенной нагрузке видно, что пассивный отпор возникает от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 60^\circ$ (рис. 3, а); при взрыве одного заряда рыхления пассивный отпор возникает от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 50^\circ$ (рис. 3, б); при взрыве двух зарядов

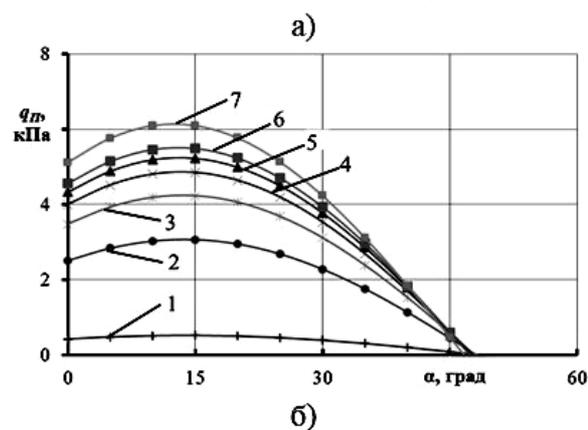
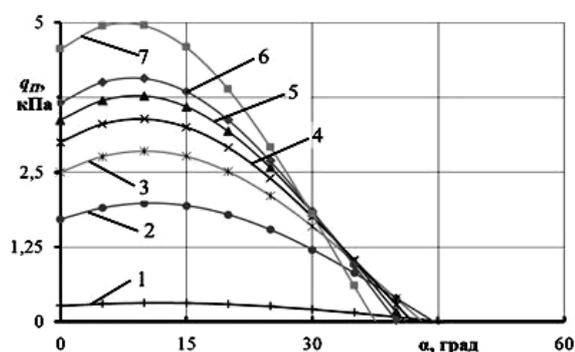
рыхления пассивный отпор возникает от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 35^\circ \dots 45^\circ$ (рис. 4, а) в зависимости от его величины; при взрыве трёх зарядов рыхления пассивный отпор возникает от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 50^\circ$ (рис. 4, б). Можно заметить, что во всех случаях пассивный отпор происходит от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 35^\circ \dots 55^\circ$, т. е. до узлов податливости крепи.

Пассивный отпор изменяется в зависимости от жёсткости закрепного пространства, которая описывается коэффициентом постели k_{II} . По мере увеличения коэффициента постели от $k_{II} = 0,05 \text{ МПа/м}$ до $k_{II} = 5 \text{ МПа/м}$ пассивный отпор при взрыве двух (рис. 4, а) зарядов рыхления с максимумом изгибающего момента при $\alpha = 7^\circ$ возрастает от $q_{II} = 0,3 \text{ КПа}$ до $q_{II} = 5 \text{ КПа}$.



1 — $k_{II}=0,05 \text{ МПа/м}$; 2 — $k_{II}=0,5 \text{ МПа/м}$;
3 — $k_{II}=1,0 \text{ МПа/м}$; 4 — $k_{II}=1,5 \text{ МПа/м}$;
5 — $k_{II}=2 \text{ МПа/м}$; 6 — $k_{II}=2,5 \text{ МПа/м}$;
7 — $k_{II}=5 \text{ МПа/м}$

Рисунок 3 Графики зависимости изменения пассивного отпора пород от разгруженной зоны при сосредоточенной (а) и параболической (б) нагрузке



1 — $k_{II}=0,05 \text{ МПа/м}$; 2 — $k_{II}=0,5 \text{ МПа/м}$;
3 — $k_{II}=1,0 \text{ МПа/м}$; 4 — $k_{II}=1,5 \text{ МПа/м}$;
5 — $k_{II}=2 \text{ МПа/м}$; 6 — $k_{II}=2,5 \text{ МПа/м}$;
7 — $k_{II}=5 \text{ МПа/м}$

Рисунок 4 Графики зависимости изменения пассивного отпора пород от разгруженной зоны пород при нагрузке по закону треугольника (а) и равномерно распределённой (б)

Такая особенность распределения пассивного отпора объясняется тем, что при взрыве двух зарядов ВВ участки активной нагрузки смещены к области замков податливости ($\alpha = 45^\circ$). Все остальные схемы распределения пассивного отпора пород при других схемах разгрузки показывают большую неравномерность деформации крепи, а поэтому малоэффективны.

Обобщая полученные результаты в виде графиков пассивного отпора пород, можно заключить, что показателем эффективности работы крепи является размер участка пассивного отпора: чем этот участок меньше, тем более равномерно загружена крепь и тем выше её работоспособность.

Выводы:

1. Наиболее эффективным является распределение нагрузки на рамную крепь по закону треугольника (рис. 1, в), при котором обеспечивается минимальный размер ($0 \leq \alpha \leq 35^\circ \dots 45^\circ$) участка пассивного отпора.

2. Показано, что наиболее оптимальным вариантом способа ВРПК является взрывание двух зарядов рыхления в массиве со стороны узлов податливости рамы крепи [4], при котором обеспечивается минимальный размер участка пассивного отпора.

Библиографический список

1. Павлов, Е. Е. Анализ негативных последствий переборов при проходке горных выработок [Текст] / Е. Е. Павлов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2009. — Вып. 28. — С. 125–133.
2. Литвинский, Г. Г. Повышение работоспособности рамной крепи путём взрывной разгрузки пород [Текст] / Г. Г. Литвинский, Е. Е. Павлов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2009. — Вып. 29. — С. 12–20.
3. Литвинский, Г. Г. Влияние пассивного отпора пород на работоспособность арочной рамной крепи [Текст] / Г. Г. Литвинский, Е. Е. Павлов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 30. — С. 5–16.
4. Патент 48196 Украина, МПК (2009) E21D 11/00. Способ управления нагружением на рамную крепь горной выработки [Текст] / Г. Г. Литвинский, Е. Е. Павлов ; заявитель и патентообладатель Донбас. гос. техн. ун-т. — № и200909413 ; заявл. 14.09.2009 ; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5. — 6 с. : ил.

© Павлов Е.Е.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., и.о. гл. инженера Филиала «Шахта им. XIX съезда КПСС» Зубковым С. В.

Статья поступила в редакцию 05.06.18.

к.т.н. Павлов Е. Е. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ВПЛИВ ЩІЛЬНОСТІ ЗАБУТОВКИ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ НА ПАСИВНИЙ ОПІР ПОРІД НАВКОЛО ВИРОБОК

Методом кінцевих елементів вивчено закономірності зміни величини і зон пасивного опору рамного кріплення гірничої виробки при різних схемах навантаження в залежності від зміни щільності забутовки закріпного простору.

Ключові слова: підготовка виробки, арочне кріплення, закріпний простір, пасивний опір, коефіцієнт постелі, метод кінцевих елементів.

PhD Pavlov E. E. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF THE CUSHIONING DENSITY OF FIXED SPACE ON THE PASSIVE ROCK BEARING REACTION AROUND WORKINGS

Using the finite element method there have been studied the regularities of value changing as well the passive bearing areas of frame support of underground workings at differ loading schemes depending on variation of cushioning density of fixing space.

Key words: development workings, arc support, fixed space, passive bearing reaction, coefficient of subgrade reaction, finite element method.