

УДК 622.281.74

*Терещук Р.Н., доцент, к.т.н., Логунова А.О., аспирантка, Терещук В.Р. студ.
гр. ГРб-12-1, Государственный ВУЗ «НГУ», г. Днепрпетровск, Украина*

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ОДИНОЧНОГО АНКЕРА НА НЕОДНОРОДНЫЙ ПРИКОНТУРНЫЙ МАССИВ

Для успешного решения проблемы подземной угледобычи необходима ритмичная безотказная работа угольных шахт, важным структурным элементом которых является горная выработка. Благодаря высокой степени неоднородности породного массива, обеспечение надежного функционирования капитальных и подготовительных выработок при относительно небольших затратах на их сооружение и поддержание представляет собой сложную научно-техническую задачу.

Переход в последние годы на отработку пластов в более сложных горно-геологических условиях (в связи с увеличением глубины горных работ, введением в работу лав на пластах со слабыми почвами и труднообрушающимися кровлями) привел к ухудшению состояния горных выработок и необходимости поиска новых организационных и технических решений.

Опыт работы шахт Донецкого региона показывает, что существующие способы охраны и поддержания горных выработок далеко не всегда позволяют решить задачу обеспечения необходимой эксплуатационной устойчивости выработок в конкретных горно-геологических условиях.

Способы охраны, 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 “выработка-породный массив-крепь” является актуальной задачей.

Результаты исследований влияния одиночного анкера на однородный приконтурный массив при различной длине анкера, на различных глубинах разработки и при изменяющихся физико-механических характеристиках вмещающих пород приведены в работах [1, 2].

Целью работы является изучение поведения неоднородного приконтурного массива, закрепленного одиночным анкером, и определение рациональных размеров зоны влияния анкера.

Для решения задач, поставленных в данной работе, использовались численные методы механики деформируемого твердого тела. Они обладают наибольшей общностью при описании механических процессов в породных массивах и конструкциях, так как свободны от влияния частных факторов, отражающих специфику горнотехнической ситуации. Численные методы позволяют исследовать механические процессы в более широком диапазоне,

т.е. дают возможность не только качественно, но и количественно прогнозировать проявление горного давления.

Применительно к данным исследованиям наиболее эффективен метод конечных элементов (МКЭ), поскольку он позволяет легко моделировать самые различные неоднородности среды: слоистость, трещиноватость, анизотропию свойств пород, явления фильтрации [3]. Разработаны специальные приемы для моделирования взаимодействия крепи выработки с окружающим массивом [4].

Отметим также возможность получения МКЭ решений в нелинейной постановке, т.е. в предположении, что среда деформируется неупруго, допускает пластические деформации или хрупкое разрушение. Используя вычислительные возможности метода, нелинейное решение получают как последовательность упругих решений.

Методом конечных элементов моделировалась одиночная выработка прямоугольного сечения с линейными размерами: ширина – 6 м, высота – 3 м; расположенная в центре неоднородного массива (с размерами 50×50 м). С помощью численного моделирования решались следующие задачи: определение рациональной зоны влияния одиночного анкера – 1) при изменении расстояния ($l = 0 \dots 3,75$ м) между кровлей и слоем крепких пород, 2) при изменении мощности ($h_{cl} = 0,25 \dots 4$ м) слоя крепких пород.

Физико-механические параметры породного массива: слабых и крепких пород соответственно – модуль упругости $E = 7350$ МПа и $E = 10850$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$ и $\mu = 0,23$, предел прочности на сжатие $R_c = 20$ МПа и $R_c = 50$ МПа, предел прочности на растяжение $R_p = 2,0$ МПа и $R_p = 5,0$ МПа, плотность пород $\gamma = 2,5$ т/м³. Для моделирования породного массива использовались линейные четырехугольные плоские элементы, а для сталеполлимерной анкерной крепи – линейные элементы. Параметры анкера: длина $l_a = 2 \dots 3$ м, модуль упругости $2 \cdot 10^6$ МПа и коэффициент Пуассона 0,35. Глубина заложения выработки 1000 м, что соответствует горному давлению 25 МПа.

Схема к определению зоны влияния b_a одиночного анкера приконтурный массив приведены в работах [1]. Расчетные схемы для исследований влияния одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив приведены на рис. 1.

Задача 1. Выработка прямоугольного сечения, закреплена одиночным анкером ($l_a = 2 \dots 3$ м), установленным в центральной части кровли. В кровле залегает слой крепких пород мощностью $h_{cl} = 1$ м (рис. 1). Для исследования определены 16 вариантов: 1 вариант – слой крепких пород залегает непосредственно в кровле выработки ($l = 0$ м); 2-16 варианты – ($l = 0,25 \dots 3,75$ м). По результатам расчетов построена зависимость изменения величины рациональной зоны влияния b_a одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив от расстояния l между кровлей и слоем крепких пород рис. 2.

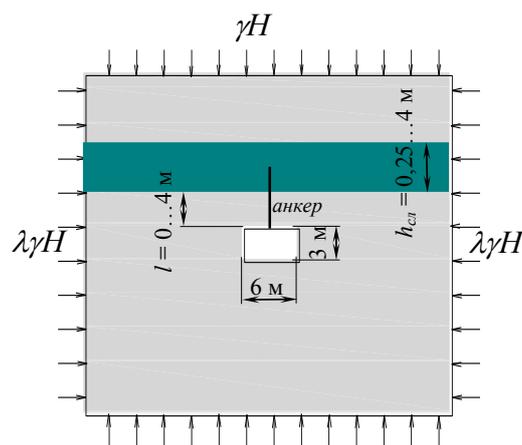


Рис. 1 – Расчетная схема для исследования влияния одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив

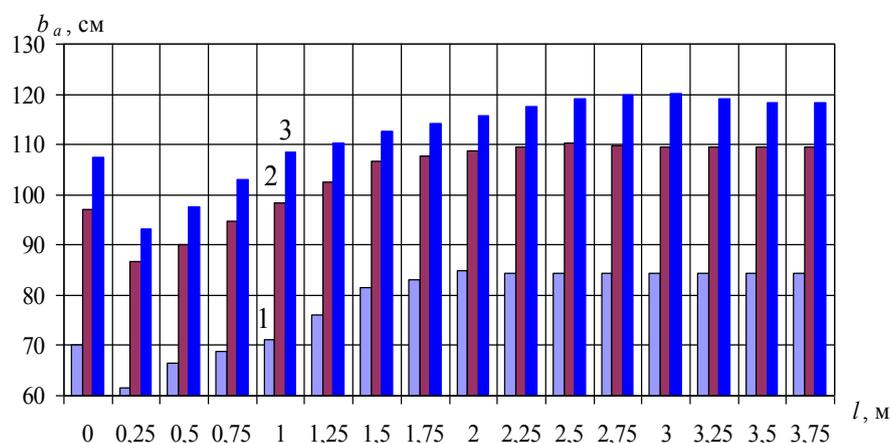


Рис. 2 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от расстояния между кровлей и слоем крепких пород ($h_{сл} = 1$ м, $f=5$): 1 – $l_a = 2$ м, 2 – $l_a = 2,5$ м, 3 – $l_a = 3$ м

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- при залегании слоя крепких пород непосредственно в кровле размеры рациональной зоны влияния одиночного анкера практически равны размерам зоны при установке анкера в однородном породном массиве [2];
- при удалении слоя крепких пород от кровли выработки на 20...25 см происходит резкое уменьшение размеров рациональной зоны влияния одиночного анкера (рис. 2);
- при дальнейшем удалении слоя от кровли (25 см и далее) размеры рациональной зоны влияния одиночного анкера увеличиваются, но при достижении расстояния $l = 1,75$ м для анкеров $l_a = 2$ м, $l = 2,25$ м – $l_a = 2,5$ м, $l = 2,75$ м – $l_a = 3$ м размеры зоны влияния перестают увеличиваться и практически не изменяются (рис. 2);

– полученные зависимости изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив от расстояния между кровлей и слоем крепких пород наиболее хорошо описываются полиномиальными зависимостями пятой степени:

для $l_a = 2$ м – $y = -0,0009x^5 + 0,0452x^4 - 0,8499x^3 + 6,9855x^2 - 21,184x + 84,514$,

для $l_a = 2,5$ м – $y = -0,0012x^5 + 0,0588x^4 - 1,0574x^3 + 8,3838x^2 - 25,171x + 113,67$,

для $l_a = 3$ м – $y = -0,0015x^5 + 0,0691x^4 - 1,2029x^3 + 9,3436x^2 - 28,267x + 125,38$.

Задача 2. Выработка прямоугольного сечения, закреплена одиночным анкером ($l_a = 2,5$ м), установленным в центральной части кровли. В кровле залегает слой крепких пород (рис. 1). Для исследования определены 6 ситуаций по 16 вариантов каждая: 1 ситуация – слой крепких пород залегает непосредственно в кровле выработки ($l = 0$ м) при изменении мощности ($h_{сл} = 0,25...4$ м) слоя крепких пород; 2-6 ситуации – слой крепких пород залегает в кровле выработки ($l = 0,25...1,5$ м) при изменении мощности ($h_{сл} = 0,25...4$ м) слоя крепких пород. По результатам расчетов построена зависимость изменения величины рациональной зоны влияния b_a одиночного анкера на неоднородный приконтурный массив от мощности слоя крепких пород при изменяющемся расстоянии между кровлей и слоем крепких пород рис. 3-8.

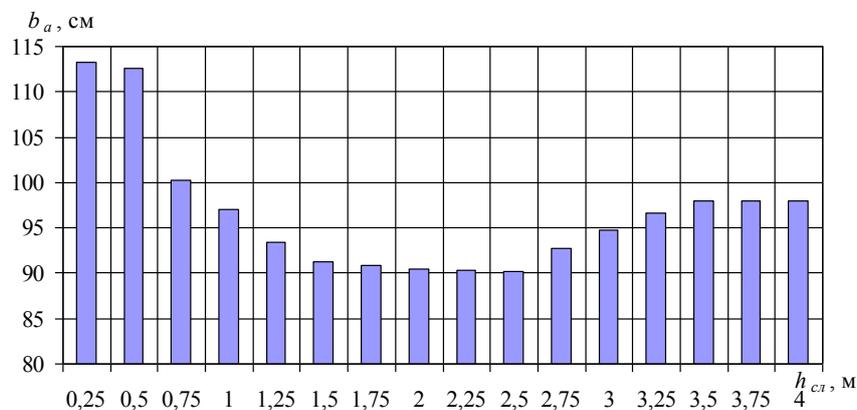


Рис. 3 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от мощности слоя крепких пород при расстоянии 0 м между кровлей и слоем ($f = 5$)

Сопоставляя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

– при увеличении мощности слоя крепких пород величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается, потом незначительно увеличивается, а далее стабилизируется на определенном значении (рис. 3-7);

– при увеличении мощности слоя крепких пород и залегании его непосредственно в кровле выработки величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается с 113,2 см до 90,2 см (при $h_{сл} = 2,5$ м), что составляет 20,4%, потом увеличивается до 98 см (при $h_{сл} = 3,5$ м), а далее стабилизируется и описывается полиномиальной зависимостью пятой степени: $y = 0,0002x^5 - 0,0121x^4 + 0,1924x^3 - 0,7382x^2 - 5,0401x + 120,23$ (рис. 3);

– при увеличении мощности слоя крепких пород и залегании его на расстоянии 0,25 м от кровли выработки величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается с 108,2 см до 81,4 см (при $h_{сл} = 2$ м), что составляет 24,8%, потом увеличивается до 90,2 см (при $h_{сл} = 3,25$ м), а далее стабилизируется и описывается полиномиальной зависимостью пятой степени: $y = 7E-05x^5 - 0,0024x^4 - 0,0189x^3 + 1,338x^2 - 13,202x + 119,7$ (рис. 4);

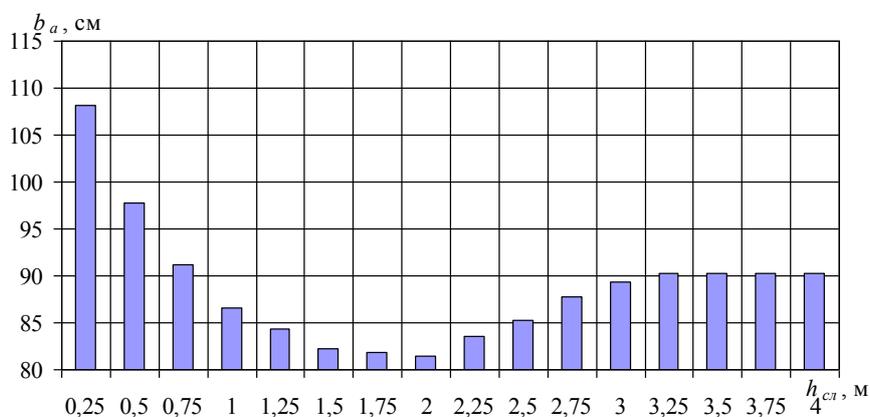


Рис. 4 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от мощности слоя крепких пород при расстоянии 0,25 м между кровлей и слоем ($f = 5$)

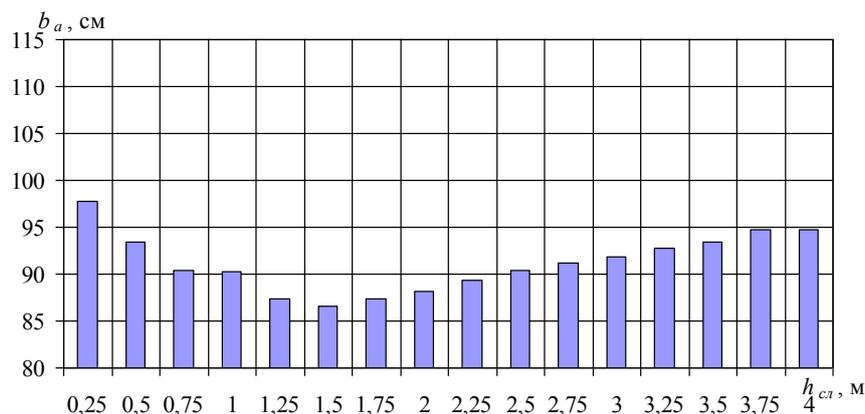


Рис. 5 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от мощности слоя крепких пород при расстоянии 0,5 м между кровлей и слоем ($f = 5$)

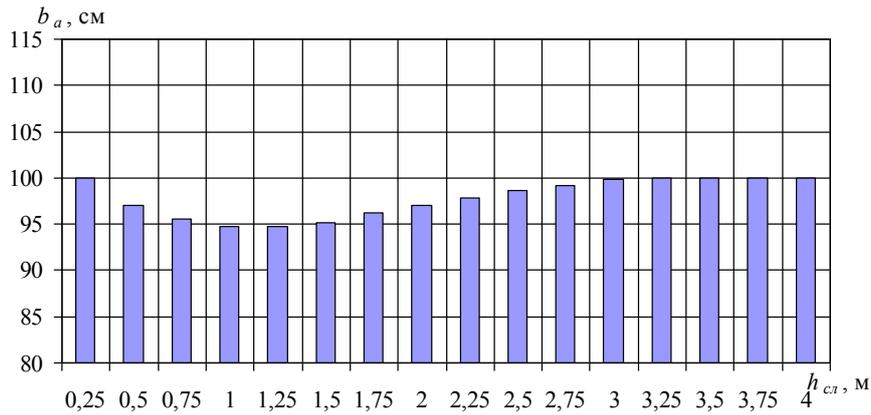


Рис. 6 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от мощности слоя крепких пород при расстоянии 0,75 м между кровлей и слоем ($f = 5$)

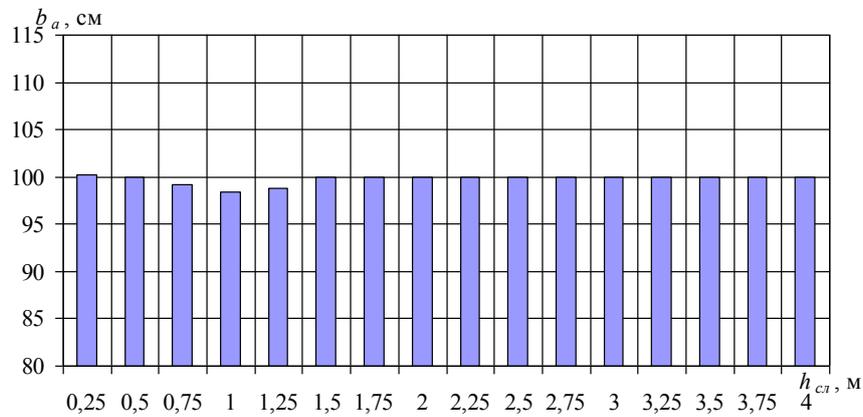


Рис. 7 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от мощности слоя крепких пород при расстоянии 1,0 м между кровлей и слоем ($f = 5$)

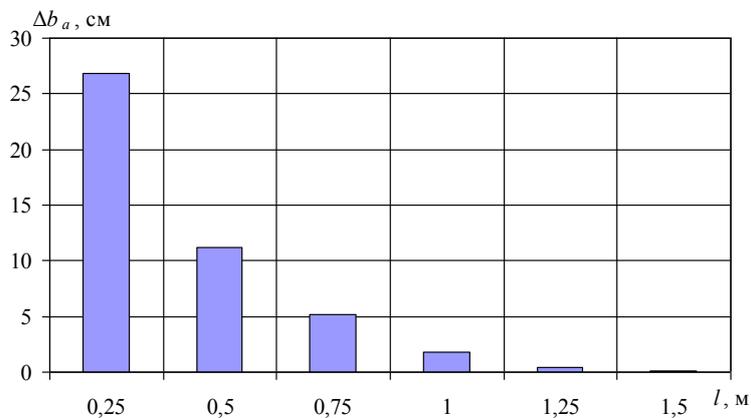


Рис. 8 – Изменения рациональной зоны влияния одиночного анкера в зависимости от расстояния между кровлей и слоем крепких пород ($f = 5$) при мощности слоя крепких пород 0,25-4 м

– при увеличении мощности слоя крепких пород и залегании его на расстоянии 0,5 м от кровли выработки величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается с 97,8 см до 86,6 см (при $h_{cl} = 1,5$ м), что составляет 11,5%, потом увеличивается до 94,8 см (при $h_{cl} = 3,75$ м), а далее стабилизируется и описывается полиномиальной зависимостью пятой степени: $y = 1E-04x^5 - 0,0035x^4 + 0,0225x^3 + 0,4307x^2 - 5,3015x + 102,5$ (рис. 5);

– при увеличении мощности слоя крепких пород и залегании его на расстоянии 0,75 м от кровли выработки величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается с 100 см до 94,8 см (при $h_{cl} = 1...1,25$ м), что составляет 5,2%, потом увеличивается до 100 см (при $h_{cl} = 3,25$ м), а далее стабилизируется и описывается полиномиальной зависимостью пятой степени: $y = -4E-06x^5 + 0,0015x^4 - 0,0631x^3 + 0,9617x^2 - 5,3295x + 104,4$ (рис. 6);

– при увеличении мощности слоя крепких пород и залегании его на расстоянии 1 м от кровли выработки величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается с 100,2 см до 98,4 см (при $h_{cl} = 1$ м), что составляет 1,8%, потом увеличивается до 100 см (при $h_{cl} = 1,5$ м), а далее стабилизируется и описывается полиномиальной зависимостью четвертой степени: $y = 0,0008x^4 - 0,0317x^3 + 0,4034x^2 - 1,8693x + 101,88$ (рис. 7);

– при увеличении расстояния между кровлей выработки и слоем крепких пород от 0 до 1,25 м (при $h_{cl} = 0,25...4$ м) изменения величины рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшаются, дальнейшее увеличение расстояния практически не влияет на изменения рациональной зоны влияния (рис. 8).

Таким образом, при удалении слоя крепких пород от кровли выработки на 20...25 см происходит резкое уменьшение размеров рациональной зоны влияния одиночного анкера, но при дальнейшем удалении слоя от кровли размеры увеличиваются и при достижении определенного расстояния практически не меняются. При увеличении мощности слоя крепких пород величина рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшается, потом незначительно увеличивается, а далее стабилизируется на определенном значении. При увеличении расстояния между кровлей выработки и слоем крепких пород от 0 до 1,25 м (при $h_{cl} = 0,25...4$ м) изменения величины рациональной зоны влияния одиночного анкера уменьшаются, дальнейшее увеличение расстояния практически не влияет на изменения рациональной зоны влияния.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучения влияния анкерных и рамно-анкерных систем на неоднородный приконтурный массив.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терещук Р.Н. Определение зоны влияния одиночного анкера на однородный приконтурный массив // Зб. наук. пр. Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – №19. – С. 183-195.

2. Терещук Р.Н. Определение параметров зоны влияния одиночного анкера, установленного в однородном приконтурном массиве // Матеріали міжнародної конференції (2-5 жовтня 2013 р.) «Форум гірників-2013». – Д.: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – С. 63-68.

3. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.

4. Новикова Л.В. Распределение напряжений в массиве горных пород на участке сопряжения двух выработок / Л.В. Новикова, А.И. Калашников, В.С. Лесников // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1984. – № 2. – С. 25.