

**Кизияров О.Л.**  
*(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ "НЕУСТОЙЧИВАЯ КРОВЛЯ -  
АНКЕРНАЯ КРЕПЬ" В ЛАВЕ**

*Наведені результати досліджень напруженого-деформованого стану покрівлі очисного вибою при її зміненні хімічним анкеруванням, отримані залежності, що описують вплив геологічних і гірничотехнологічних факторів на силові характеристики елементів анкерного кріплення.*

**Ключові слова:** хімічне анкерування, нестійка покрівля, еквівалентні напруження, МСЕ.

*Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния кровли очистного забоя при ее упрочнении химическим анкерованием, получены зависимости, отсылающие влияние геологических и горнотехнологических факторов на силовые характеристики элементов анкерной крепи.*

**Ключевые слова:** химическое анкерование, неустойчивая кровля, эквивалентные напряжения, МКЭ.

Упрочнение неустойчивой кровли в очистном забое необходимо для обеспечения безопасности работ, сохранения уровня добычи, уменьшения зольности угля и себестоимости его добычи. На протяженных участках ложной кровли мощностью 0,4 - 0,6 м, неустойчивой кровли переменной мощности и сложного строения необходимо применять не один, а несколько из известных способов упрочнения: химическое анкерование; упрочнение нагнетанием составов; заполнение пустот; создание скрепляющего слоя на поверхности вывала из кровли. При этом следует учитывать область применения способа, его достоинства и недостатки, свойства упрочняемых пород, механизмы взаимодействия средств упрочнения с неустойчивыми породами. В возможных сочетаниях важнейшим является анкерование кровли, функции которого не только скреплять трещиноватый массив, но и удерживать упрочненные породы от обрушения в призабойном пространстве.

Химическое анкерование на шахтах Донбасса получило наибольшее распространение. Параметры технологии установлены эмпирически. Они учитывают высоту вывала, кусковатость пород [1]. Известны результаты аналитических исследований работоспособности армополимерного анкера при различных свойствах закрепляющего материала [2], для сопряжений лав с вентиляционными выработками [3].

Определение параметров технологии анкерования элементов анкерной крепи актуально, особенно для сложных горно-геологических условий применения в сочетании с другими способами упрочнения.

Цель работы - исследовать напряженно-деформированное состояние системы "неустойчивая кровля - анкерная крепь" в лаве.

Объект исследования - технология упрочнения кровли в лавах химическим анкерованием.

Предмет исследования - напряженно-деформированное состояние системы "неустойчивая кровля - анкерная крепь".

Для исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности очистного забоя решена объемная, нелинейная задача МКЭ с применением программного комплекса Лира [4]. Моделирование осуществлялось для следующих условий: глубина разработки - 600 м, мощность пласта - 1 м, мощность неустойчивой кровли - 0,5 - 2,5 м. Описание модели приведено в работе [5]. В статье приведены результаты исследований на фрагменте центральной части лавы размерами 20x15x10 м, выделенном из основной модели. На граничные узлы фрагмента наложены перемещения, полученные при расчете основной схемы.

Во всех моделях использован нелинейный расчетный процессор МОНТАЖ. Весь расчетный процесс задач разбит на 5 стадий:

- 1) нагружение модели;
- 2) снятие полосы угля;
- 3) вывалообразование;
- 4) упрочнение кровли анкерами;
- 5) повторное снятие полосы угля.

Из модели поэтапно удалялись и включались элементы, имитируя таким образом снятие полосы угля, обрушение неустойчивой кровли, возведение анкеров. На каждом этапе расчета вычислялись главные и эквивалентные напряжения в кровле, а так же силовые характеристики элементов анкерной крепи.

В данной работе рассмотрены две схемы установки анкеров: двухрядная схема установки [1], при которой верхний анкер, установленный под углом 45-60° и нижний (0-10°) соединяются между собой

стяжкой; предложенная авторами [6], в которой анкер, скрепляющий слой неустойчивой кровли, установлен над угольным пластом, соединен планкой с приклеенной к поверхности необрушающегося слоя кровли плитой. Армополимерный анкер, закрепленный по всей длине шпура, задавался в виде физически нелинейного стержневого элемента, состоящего из основного материала (полиуретан), и армирующего (стальной стержень).

Характеристики полиуретанового состава: тип - ППУ-13А, модуль упругости  $E = 400$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,29$ , предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж} = 23$  МПа. Анкер - сталь марки Ст5,  $E = 210$  ГПа,  $\mu = 0,25$ , предел прочности на растяжение  $\sigma_p = 23$  МПа [2].

Длина анкеров 1,6 - 1,8 м, а величина их заделки в массиве устойчивой кровли составляет 0,5 и 1 м, соответственно, для нижнего и верхнего ряда.

Диапазоны факторов, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние массива и усилия в элементах анкерной крепи, следующие:

- мощность неустойчивой кровли от 0,4 до 2,5 м;
- расстояние между анкерами вдоль лавы от 0,6 до 1,2 м;
- ширина зависших упрочненных пород после выемки угля от 0,15 до 1,6 м;
- расстояние от места выемки угля до анкера от -2,5 м до +2,5 м;
- угол наклона планки к плоскости напластования от 55 град до 77 град.

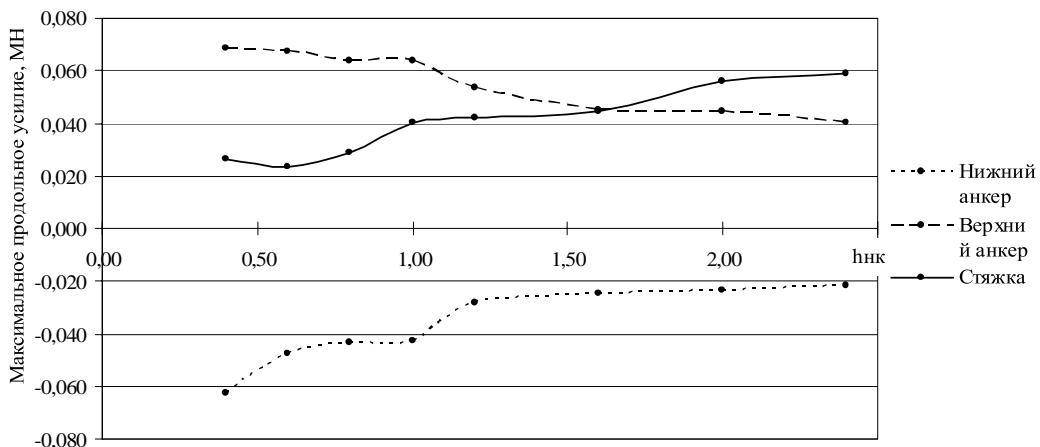
При исследовании отдельных факторов приняты средние значения мощности неустойчивой кровли 1 м, расстояние между анкерами вдоль лавы - 0,8 м.

Результаты исследований для первой схемы анкерования следующие.

На рисунке 1 представлены диаграммы зависимости максимальных продольных (3-а) и поперечных (3-б) усилий в элементах анкерной крепи от мощности неустойчивой кровли.

На рисунке 1 видим, что при малых мощностях неустойчивого слоя основную продольную нагрузку испытывает верхний анкер. При увеличении мощности неустойчивого слоя происходит перераспределение продольных и поперечных усилий между элементами крепи, в результате чего последние возрастают. Нижний анкер работает на сжатие, что вызвано наличием сжимающих деформаций в упрочняющем слое. Как показали дальнейшие исследования, при мощности неустойчивой кровли более 1 м в нижнем анкере образуются растягивающие усилия.

a)



б)

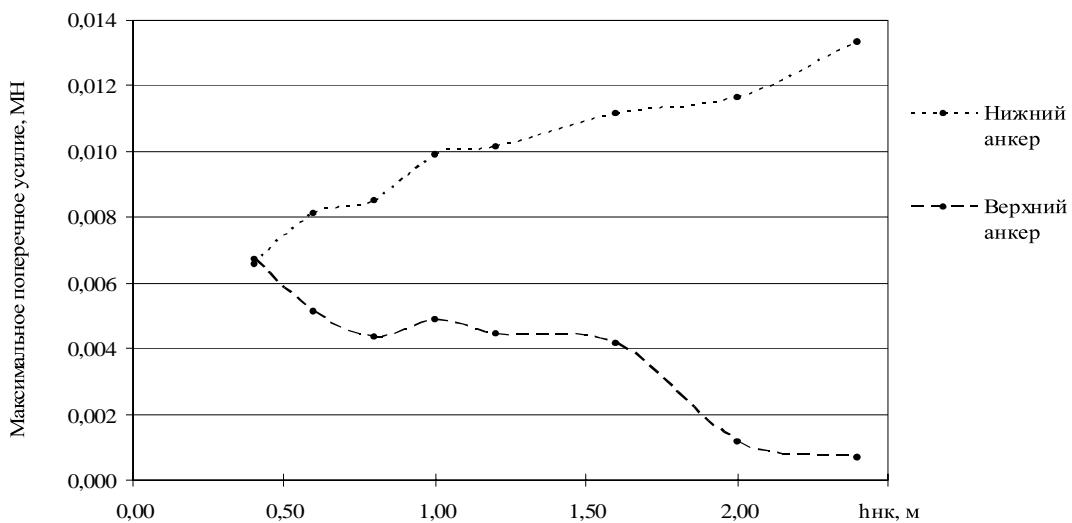


Рисунок 1 - Диаграммы зависимости максимальных усилий в элементах анкерной крепи при различной мощности неустойчивой кровли

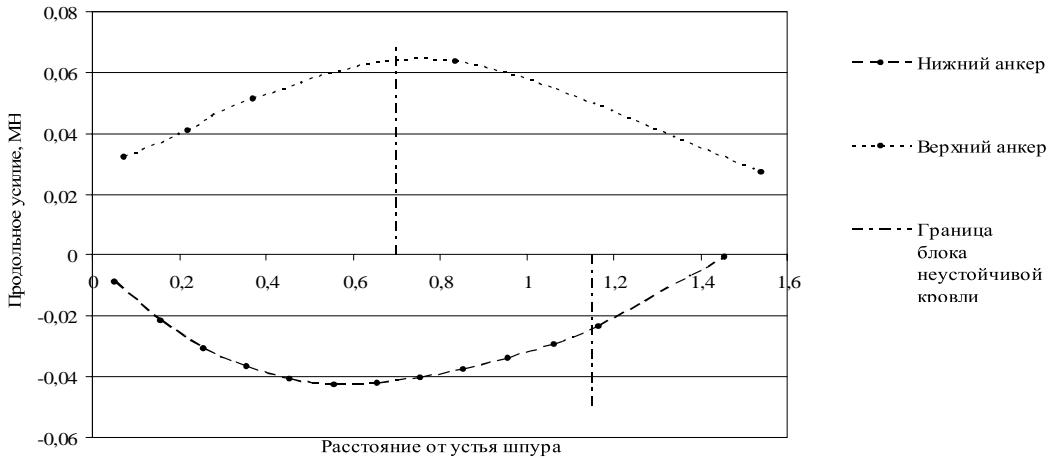
Детально проанализировано изменение усилий по длине анкера, показанное на рисунке 2.

Согласно рисунку 2 максимальные растягивающие продольные усилия в верхнем анкере возникают на границе неустойчивого слоя с устойчивой кровлей, в нижнем анкере - в средней части. Максимальные поперечные усилия наблюдаются в области соединения анкера со стяжкой, а так же на контакте неустойчивого и устойчивого слоев кровли. Так как значения продольных усилий в анкерах на порядок больше поперечных, то в дальнейшем анализах будут анализироваться продольные усилия, как наиболее значимые.

Увеличение расстояния между анкерами с 0,6 до 1,2 м привело к росту усилий в элементах анкерной крепи на 0,6 - 1%, т.е. анкер удер-

живает от обрушения кровлю в зоне его влияния, где изменяются напряжения в кровле.

a)



б)

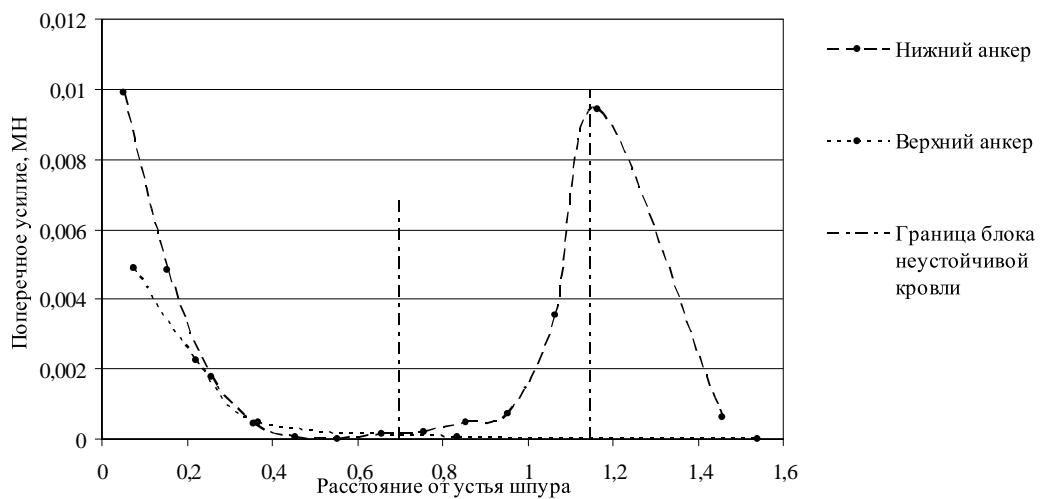


Рисунок 2 - Диаграмма максимальных усилий по длине анкера

Проанализируем влияние плотности установки анкеров на напряженное состояние кровли. Для исследования выделяем три вертикальные сечения вдоль лавы: на поверхности вывала, на расстоянии 0,8 м, на расстоянии 1,2 м от угольного забоя. На рисунке 3 приведено распределение эквивалентных напряжений в кровле очистного забоя.

Проанализируем полученные результаты. В первом сечении вокруг анкера образуется зона влияния радиусом 0,18 - 0,2 м, в которой эквивалентные напряжения больше эквивалентных напряжений в массиве без анкера. Плотность установки анкеров вдоль лавы практически не сказывается на размере области влияния. Максимальные растягивающие напряжения вокруг анкера составляют 7,4 МПа, но вглубь мас-

сива эта зона распространяется всего на 0,1 м, что видно из рисунка 3-г. На расстояниях 0,8 м и 1,2 м от забоя характерны растягивающие напряжения выше анкера и сжимающие в нижней полуплоскости от 3,2 до -4,4 МПа и от 5,6 до -5,8 МПа соответственно.

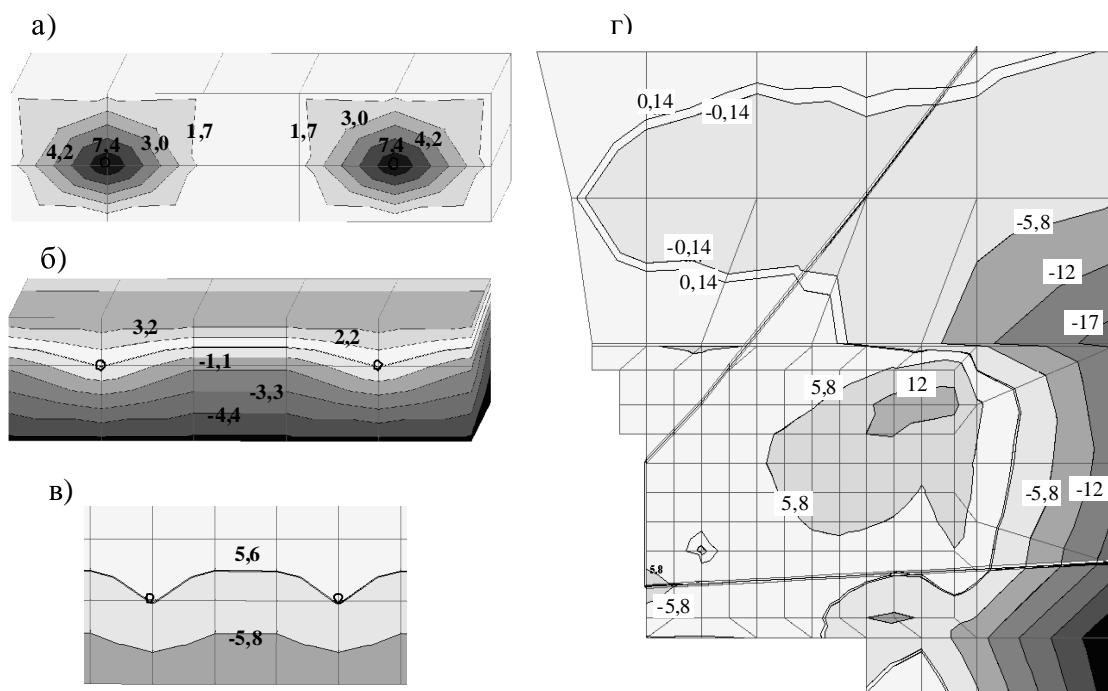


Рисунок 3 - Изополя эквивалентных напряжений в окрестности нижних анкеров а) на линии забоя; б) на расстоянии 0,8 м; в) на расстоянии 1,2 м; г) сечение перпендикулярно забою лавы

Далее проводилось исследование влияния ширины упрочненной и зависшей при выемке угля кровли на распределение усилий в верхнем и нижнем анкере.

На рисунке 4 приведены зависимости максимальных усилий в анкерах от ширины упрочненной и зависшей при выемке угля кровле.

При увеличении ширины упрочненной и зависшей кровли до 1 м усилия в верхнем анкере растут и затем незначительно снижаются.

Ниже приведены результаты влияния выемки угля на перераспределение усилий между элементами анкерной крепи. Область исследования от -2,4 м (комбайн ниже исследуемой анкерной крепи) до 2,4 м (комбайн выше исследуемой анкерной крепи).

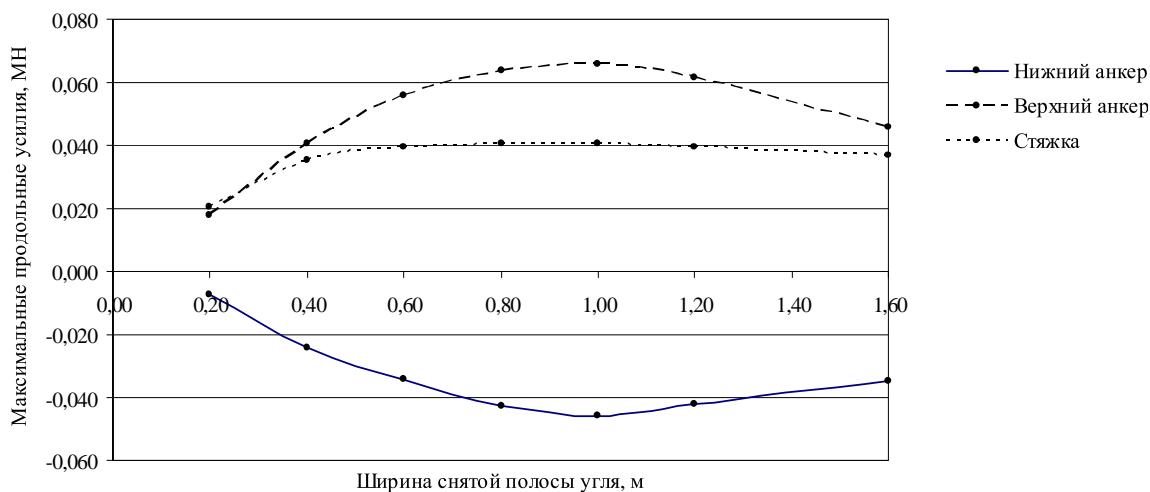


Рисунок 4 - График зависимости максимальных усилий в элементах анкерной крепи при различной ширине упрочненной и зависшей при выемке угля кровле

На рисунке 5 приведен график зависимости усилий в элементах анкерной крепи от положения комбайна. Процесс деформирования элементов анкерной крепи начинается до подхода комбайна на расстояние 1 м. Максимальные усилия в верхнем анкере и стяжке возникают после отхода комбайна на расстояние 1,8 м, в нижнем анкере - 1,2 м от анкерной крепи.

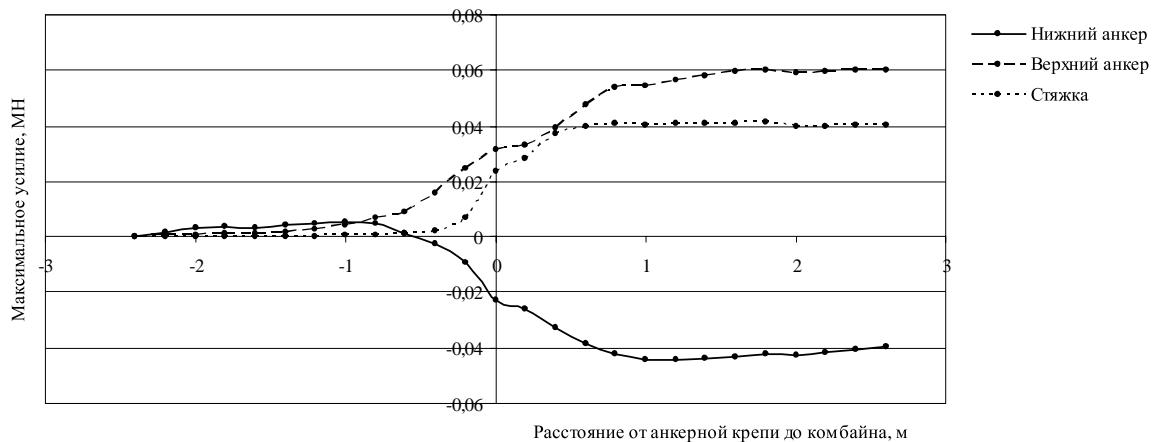


Рисунок 5 - Зависимость усилий в элементах анкерной крепи от расстояния до угольного уступа

Для второй схемы на рисунке 6 представлены графики зависимости усилий в анкере от угла наклона планки.

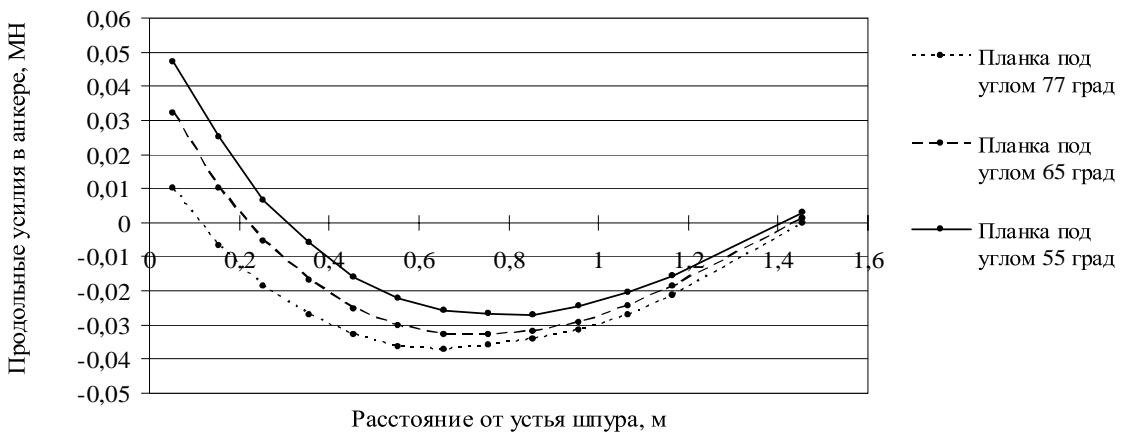


Рисунок 6 - График зависимости усилий в анкере по длине от угла наклона планки к плоскости наплоставания

Из рисунка 6 следует, что с уменьшением угла установки планки при прочих равных условиях продольные усилия в анкере снижаются. Как и при первой схеме установки анкеров, максимальные усилия в нижнем анкере наблюдаются на расстоянии 0,6 - 0,8 м от устья шпуря, однако в целом усилия при второй схеме на 18 - 38% меньше, чем при традиционной схеме установки. Анализ поперечных усилий в анкере показал, что угол установки планки не влияет на их величину и они практически одинаковы для первой схемы анкерования.

При углах установки планки 77, 65 и 55° усилия в планке составили 0,100, 0,112 и 0,124 МН.

Для оценки влияния высоты вывала на усилия в анкере и планке построены графики, представленные на рисунках 7 и 8 соответственно.

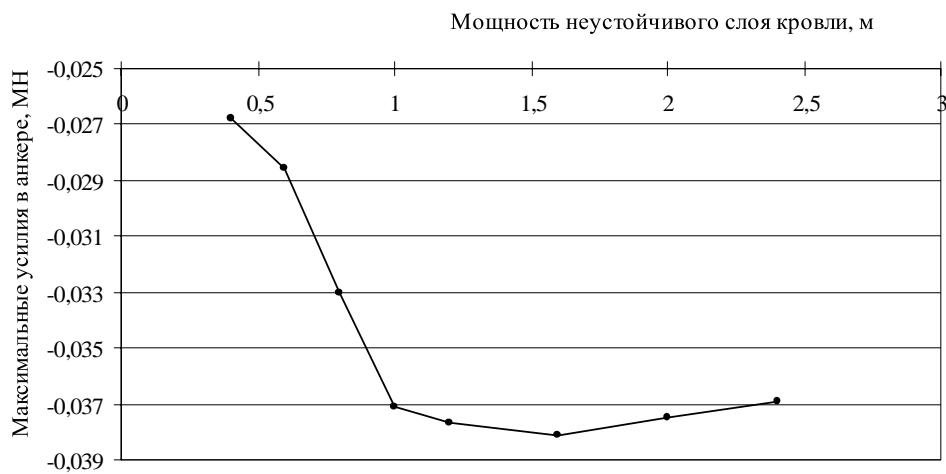


Рисунок 7 - График зависимости максимальных усилий в анкере при различной мощности неустойчивого слоя кровли

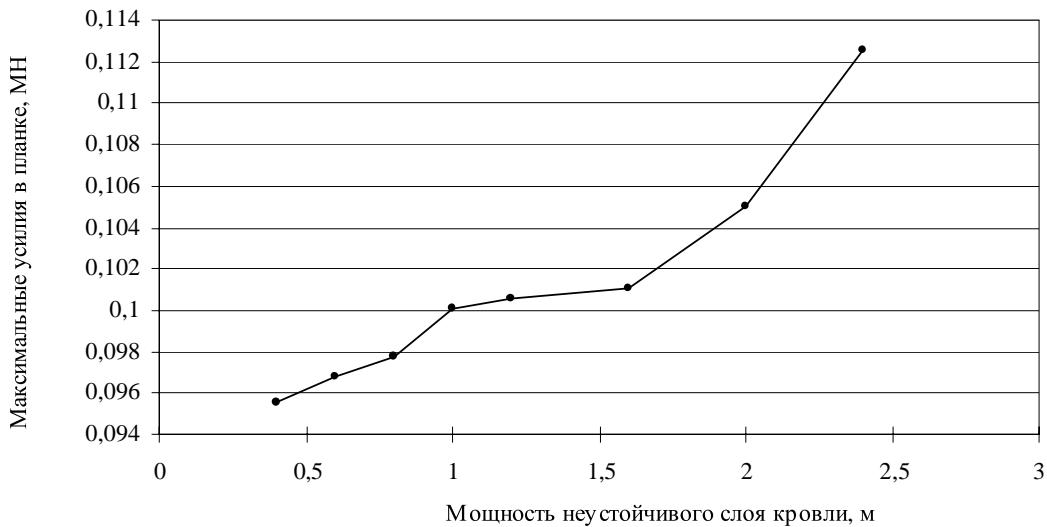


Рисунок 8 - График зависимости максимальных усилий в планке при различной мощности неустойчивого слоя кровли

Исходя из рисунка 7, усилие в анкере растет только до мощности неустойчивого слоя 1 м. При большей мощности часть нагрузки воспринимает планка, усилия в которой возрастают более интенсивно при мощности неустойчивого слоя выше 1 м.

На основании исследований установлены регрессионные зависимости, наиболее важные из них для определения параметров анкерования следующие.

Зависимость усилий в нижнем анкере для первой схемы анкерования от:

- мощности неустойчивой кровли

$$N_{\max} = 1/(-35,3205 \cdot h_{\text{нк}} + 6,6889 \cdot h_{\text{нк}}^2); \quad (1)$$

$$R^2 = 0,994; \alpha_p = 0,00001; F_p = 499,1;$$

- ширины зависшей и упрочненной кровли

$$N_{\max} = 0,0101 - 0,1014 \cdot r_3 + 0,0463 \cdot r_3^2; \quad (2)$$

$$R^2 = 0,986; \alpha_p = 0,0002; F_p = 142,1.$$

Зависимость усилий в стяжке от мощности неустойчивой кровли

$$N_{\max} = 0,0941 + 0,0016 \cdot \exp(h_{\text{нк}}); \quad (3)$$

$$R^2 = 0,964; \alpha_p = 0,00001; F_p = 160,2.$$

Зависимость усилий в верхнем анкере от:

- мощности неустойчивой кровли

$$N_{\max} = 0,0753 - 0,0156 \cdot h_{\text{НК}}; \\ R^2 = 0,928; \alpha_p = 0,0001; F_p = 77,4; \quad (4)$$

- ширины зависшей и упрочненной кровли

$$N_{\max} = 0,1266 \cdot r_3 - 0,0614 \cdot r_3^2; \\ R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,00001; F_p = 1382. \quad (5)$$

Для второй схемы зависимость усилий в планке от:

- мощности неустойчивой кровли

$$N_{\max} = 0,0255 \cdot h_{\text{НК}} + 0,007 / h_{\text{НК}}; \\ R^2 = 0,99; \alpha_p = 0,00001; F_p = 287,0; \quad (6)$$

- ширины зависшей и упрочненной кровли

$$N_x = 0,0402 - 0,0008 / r_3^2; \\ R^2 = 0,957; \alpha_p = 0,0001; F_p = 111,4. \quad (7)$$

Для проверки адекватности функции регрессии исходным данным рассчитывались следующие показатели: множественный коэффициент детерминации  $R^2$ , уровень значимости коэффициента детерминации  $\alpha_p$ , расчетное значение  $F$ -критерия Фишера, показатель средней ошибки аппроксимации.

**Выводы.** На основании исследований установлен сложный характер изменения напряжений в массиве и усилий в элементах анкерной крепи при изменении горно-геологических и технических условий применения химического анкерования для упрочнения неустойчивой кровли в лавах; получены регрессионные зависимости предназначены для определения параметров анкерования.

### Библиографический список

1. Методическое руководство по укреплению углепородных массивов химическим анкерованием / ИГД им. А.А. Скочинского. – М.: 1987. – 39 с..
2. Гердвалис С.А. Исследование деформационных свойств химического анкера// Сб. науч. тр. "Технология очистных работ на угольных шахтах разрабатывающих тонкие пласти, ДонУГИ, Донецк: 1980. С. - 78 - 81.
3. Касьян С.И. Обоснование параметров упрочнения неустойчивой кровли химическим анкерованием на сопряжениях лав с повторно

*используемыми выработками// Сборник научных трудов. - Алчевск: 2009, вып. № 28. – С. 116 - 124.*

*4. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчёта и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. Академика АИН Украины А.С. Городецкого. К.-М.: 2003. – 464 с.*

*5. Кизяров О.Л. Модель для исследования параметров технологии комбинированного упрочнения кровли в лавах// Сборник научных трудов. - Алчевск: 2004, вып. № 18. – С. 87 - 91.*

*6. Патент України 22615, МПК(2006) E 21 D 20/00. Спосіб змінення безпосередньої покрівлі від обвалювання. М.К. Клішин, С.І. Касьян, О.Л. Кізяров, К.З. Склєпович. № u200612763; Заявл. 04.12.2006; Опубл. 25.04.2007.*

***Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.***