

*д.т.н. Клишин Н.К.,  
к.т.н. Склепович К.З.,  
к.т.н. Касьян С.И.,  
Пронь П.А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ АНКЕРОВ В ПОЧВЕ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Викладені результати дослідження впливу різноманітних схем анкерування підосви на зниження її здимання, на основі яких вибрана оптимальна схема розташування анкерів у підосві виробки.*

***Ключові слова:** виїмкова виробка, здимання, анкерування підосви, чисельне моделювання.*

*Изложены результаты исследования влияния различных схем анкерования почвы на снижение её пучения, на основе которых выбрана оптимальная схема расположения анкеров в почве выработки.*

***Ключевые слова:** выемочная выработка, пучение, анкерование почвы, численное моделирование.*

Согласно статистическим данным затраты на ремонт и поддержание подготовительных выработок на шахтах Украины составляют около 15 % от затрат на добычу угля, причем в 45 % выработок неудовлетворительное состояние выработок вследствие пучения почвы [1].

Одним из направлений уменьшения пучения пород является механическое воздействие на почву крепью усиления, путем анкерования [2]. Эффективность анкерования почвы определяется правильно обоснованными параметрами для определенной области условий, пространственным расположением анкеров.

ДонНТУ предложена схема локального анкерования для предотвращения складкообразования [3] ДонНТУ и ИГТМ АН УССР, расположения анкеров в пространстве [4, 5] на основании исследований применительно к креплению выработок. Подобные исследования для совершенствования способов предотвращения пучения не проводились.

Объект исследования – пучение почвы в выемочных выработках.

Предмет исследования – пространственное расположение анкеров в почве подготовительных выработок.

Цель – обосновать схему пространственного расположения анкеров в почве выемочных выработок.

Исследования МКЭ выполнены для следующих условий: мощность угольного пласта 1,25 м; непосредственная кровля представлена аргиллитом мощностью 5,75 м; в почве залегает аргиллит мощностью 0,75 м, затем слой алевролита – 1,4 м, ниже которого 5 м песчаник.

Разработана объёмная модель массива горных пород для численного моделирования с такими размерами: высота 914 м, длина 961 м, ширина 1064 м. Она содержит: подготовительную выработку арочного сечения высотой 3,0 м, шириной 4,0 м, проведенную с подрывкой кровли; лаву длиной 200 м. Модель состоит из 45696 изопараметрических универсальных пространственных шестиугольных и восьмиугольных конечных элементов, размеры которых колеблются от 0,25м\*0,25м\*0,25м (минимальный восьмиугольный конечный элемент) до 100м\*200м\*100м (максимальный восьмиугольный конечный элемент). На граничные узлы модели наложены связи: на боковых гранях параллельных выработке – по оси X; перпендикулярно выработке – по оси Y; на нижней грани – по оси Z.

Исследовалось взаимодействие анкеров, установленных в почве выработки, с верхними слоями почвы. Рассматривались 4 схемы установки двух анкеров, показанные на рисунке 1: а – схема 1 – прямое расположение анкеров; б – схема 2 – анкеры установлены под углом 45° в сечении выработки; в – схема 3 – анкеры установлены по смещенным диагоналям параллелепипеда, наклонённые в сторону подвигания лавы; г – схема 4 – анкеры установлены по смещенным диагоналям параллелепипеда, наклонённые в сторону выработанного пространства лавы.

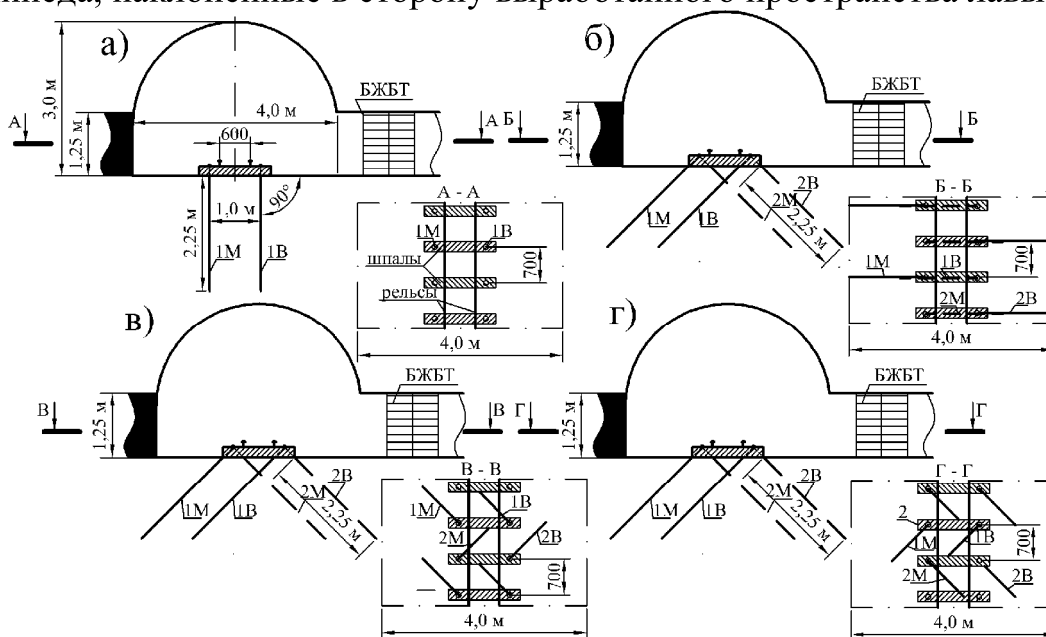


Рисунок 1 – Схемы расположения анкеров в почве подготовительной выработки

На рисунке приняты следующие обозначения: 1М – анкер, установленный со стороны массива с наклоном на массив; 1В – анкер, установленный со стороны выработанного пространства с наклоном на массив; 2М – анкер, установленный со стороны массива с наклоном на выработанное пространство; 2В – анкер, установленный со стороны выработанного пространства с наклоном на выработанное пространство.

Анкеры представляли собой металлические стержни диаметром 0,025 м. Расстояние между анкерами поперёк выработки равно 1,0 м, вдоль – 0,7 м друг от друга, закрепленные у устья шпура и на конце анкера. Анкерам задано предварительное натяжение 0,05 МН. Для определения оптимальной схемы установки анализировались усилия, возникающие в анкерах, поднятия контура почвы подготовительной выработки, горизонтальные, вертикальные и эквивалентные напряжения в исследуемой области модели шириной 11,5 м, высотой – 9,75 м, длиной 40,6 м, из которых 19,6 м до лавы и 21 м позади неё.

На рисунке 2а показаны растягивающие усилия, возникающие в анкерах, установленных перпендикулярно почве выработки, которые достигают максимума 0,00148 МН на расстоянии 0,7 м позади лавы. Такие значения характерны в анкере, установленном со стороны лавы, что свидетельствует о повышенной интенсивности поднятия почвы выработки с этой стороны. С противоположной же стороны усилия в анкере приобретают обратный знак (анкер сжимается) и равны -0,005 МН. По мере удаления анкеров от линии очистного забоя усилия стабилизируются и на расстоянии 11 м позади лавы становятся равными 0,00076 МН.

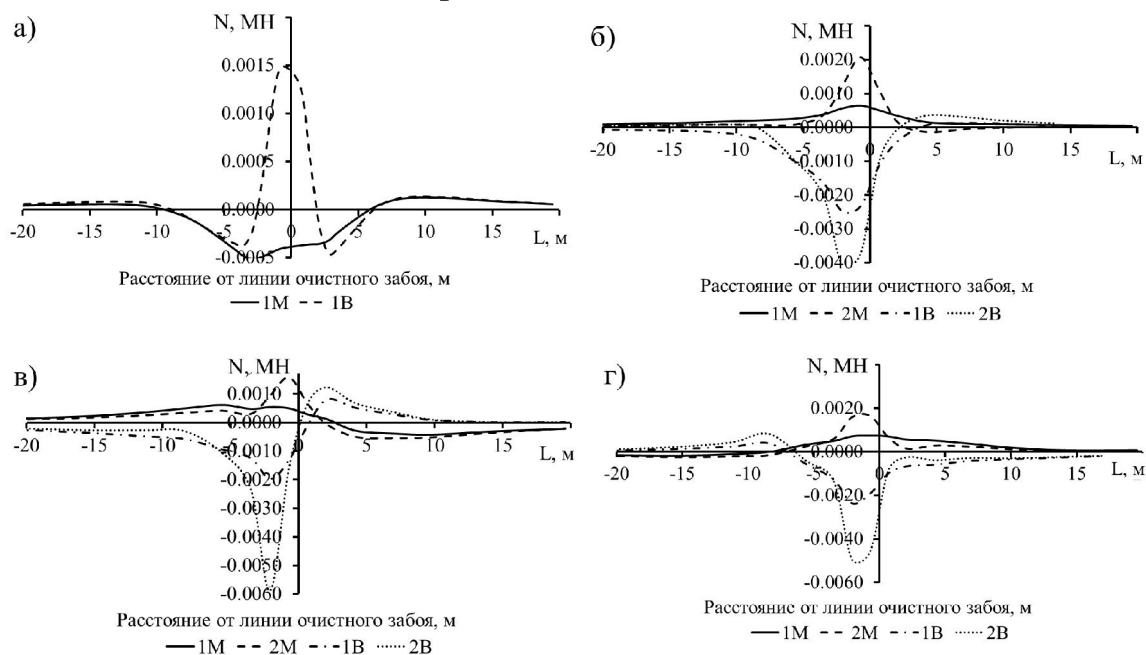


Рисунок 2 – Распределение усилий, возникающих в анкерах при различных схемах анкерования

Согласно рисунку 2б максимальные растягивающие усилия в наклонных анкерах на 28,5% выше, а сжимающие – на 87,7%, чем при прямом их расположении, и соответственно составляют 0,00207 и - 0,00407 МН. То есть эта схема обеспечивает большее восприятие нагрузки со стороны массива анкерами и работоспособность их выше.

Когда анкеры установлены по смещенным диагоналям параллелепипеда с наклоном по ходу подвигания очистного забоя, согласно рисунку 2в растягивающие усилия достигают 0,0158 МН, сжимающие - - 0,00588 МН, что на 6,3 и 91,5% больше, чем при первой схеме анкерования почвы выработки.

На рисунке 2г в анкерах, установленных по смещенным диагоналям параллелепипеда с наклоном в сторону выработанного пространства, растягивающие усилия в анкерах больше на 9,8% и на 89,9% сжимающие по сравнению с 1-ой схемой. Усилия соответственно равны 0,0164 и -0,00494 МН.

Проанализируем, как влияет та или иная схема анкерования на поднятие почвы подготовительной на участке 19,6 м впереди лавы и 21 м позади ее. Из рисунка 3а видно, что поднятие почвы в месте установки анкера, находящегося со стороны массива горных пород, максимальное при первой схеме установки анкеров, на линии очистного забоя оно равно 5,8 мм, т.е. на 5,9% больше, чем при 2-4-ой схемах. Со стороны массива угля эффективнее применение наклонных анкеров.

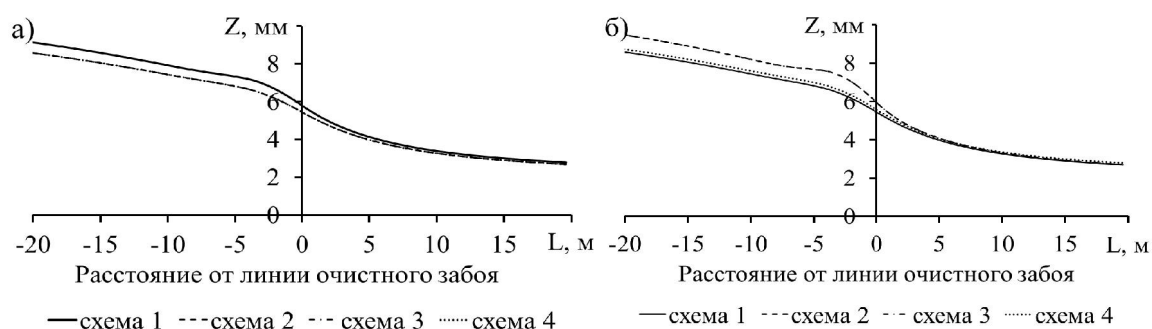


Рисунок 3 – Поднятие почвы выработки в месте установки анкера, расположенного со стороны массива (а) и выработанного пространства (б)

Поднятия почвы выработки в месте установки второго анкера (со стороны лавы) наименьшие наблюдаются при 1-ой и 4 схемах установки анкеров и составляют 5,4 мм. При 2-ой и 3-ой схемах смещения на 8,4% больше по сравнению с 1-ой и 4-ой. За лавой смещения разнятся на 6,1%, достигая на расстоянии 20 м соответственно 8,9 и 8,4 мм. Исходя из выше изложенного, наилучшие результаты достигнуты при 4-ой схеме анкерования, когда анке-

ры установлены по смещенным диагоналям параллелепипеда с наклоном в сторону выработанного пространства.

Горизонтальные напряжения вдоль выработки при установленных анкерах и без них практически не отличаются. Впереди лавы в почве действуют сжимающие напряжения, максимальное значение которых – 0,73 МПа на расстоянии 5,6 м, после чего наблюдается уменьшение напряжений и на расстоянии 1 м впереди лавы наблюдаются растягивающие напряжения, максимальное значение которых на расстоянии 4,2 м за лавой 1,9 МПа. Затем на участке 4,2-8,4 м позади лавы напряжения снижаются до 1,32 МПа. При дальнейшем удалении от очистного забоя напряжения плавно нарастают и на расстоянии 21 м достигают 1,57 МПа.

Горизонтальные напряжения поперек выработки для всех схем одинаковые. Растягивающие напряжения выше в нетронутом массиве и составляют 1,37 МПа на линии лавы; максимальные на расстоянии 9,8 м позади лавы, достигают 3,54 МПа. Отмечена закономерность: в местах максимальных значений напряжений вдоль выработки возникают минимальные горизонтальные напряжения перпендикулярно оси выработки.

В почве максимальные сжимающие вертикальные напряжения вдоль выработки 0,038 МПа возникают на расстоянии 2,8 м впереди лавы и растягивающие 0,023 МПа позади лавы на расстоянии 4,2 м.

Сочетание горизонтальных и вертикальных напряжений определило распределение эквивалентных напряжений, приведенных на рисунке 4а. Впереди лавы в зоне опорного давления максимальные эквивалентные напряжения 3,08 МПа. За лавой минимальные 2,27 МПа на расстоянии 5,6 м. На участке 5,6-9,8 м увеличиваются эквивалентные напряжения до 3,81 МПа.

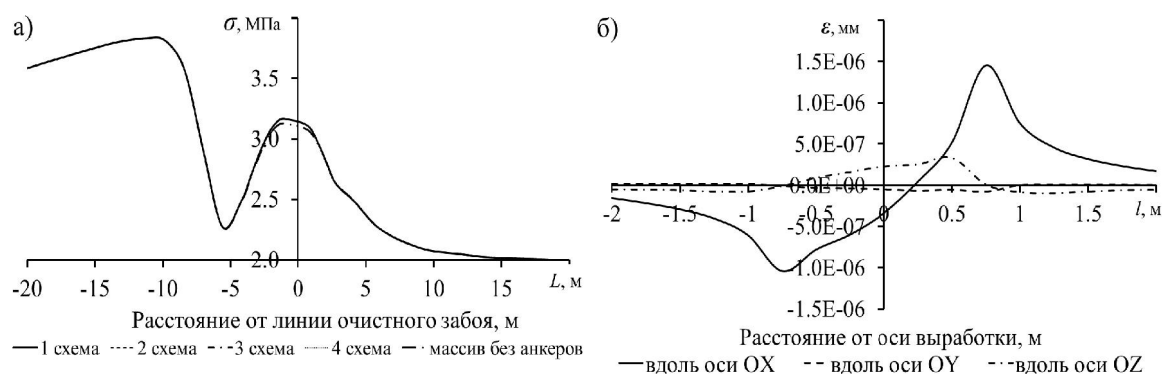


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений вдоль выработки (а) и деформаций на линии очистного забоя (б)

На рисунке 4б представлены деформации почвы выработки на линии очистного забоя, расположенного в 1 квадранте рисунка. Перпендикулярно оси выработки (кривая ОХ) со стороны массива максимальные деформации равны  $-1,04 \cdot 10^{-6}$  мм, со стороны лавы  $1,45 \cdot 10^{-6}$  мм на расстоянии 0,75 м от оси выработки. Ближе к лаве деформации снижаются до  $0,17 \cdot 10^{-6}$  мм. То есть на расстоянии 0,75 м от оси выработки со стороны лавы необходимы дополнительные мероприятия по снижению деформаций.

На основании параметров зон эквивалентных напряжений в 4-х сечениях впереди и позади лавы установлено следующее. На расстоянии 20 м впереди лавы вокруг выработки изополя эквивалентных напряжений симметричны относительно оси выработки. По пласту действуют максимальные сжимающие напряжения  $-5,86$  МПа. Вблизи контура выработки на 0,5 м в кровлю и бока, на 1,0 м в почве распределены растягивающие напряжения, максимальные значения которых равны  $1,17$  МПа.

По мере приближения к забою в зоне опорного давления растягивающая область увеличивается до 0,75 м в кровле, 1,5 м в почве и 2,0 м над и под угольным пластом со стороны лавы. Максимальные сжимающие напряжения, действующие в пласте равны  $-8,48$  МПа.

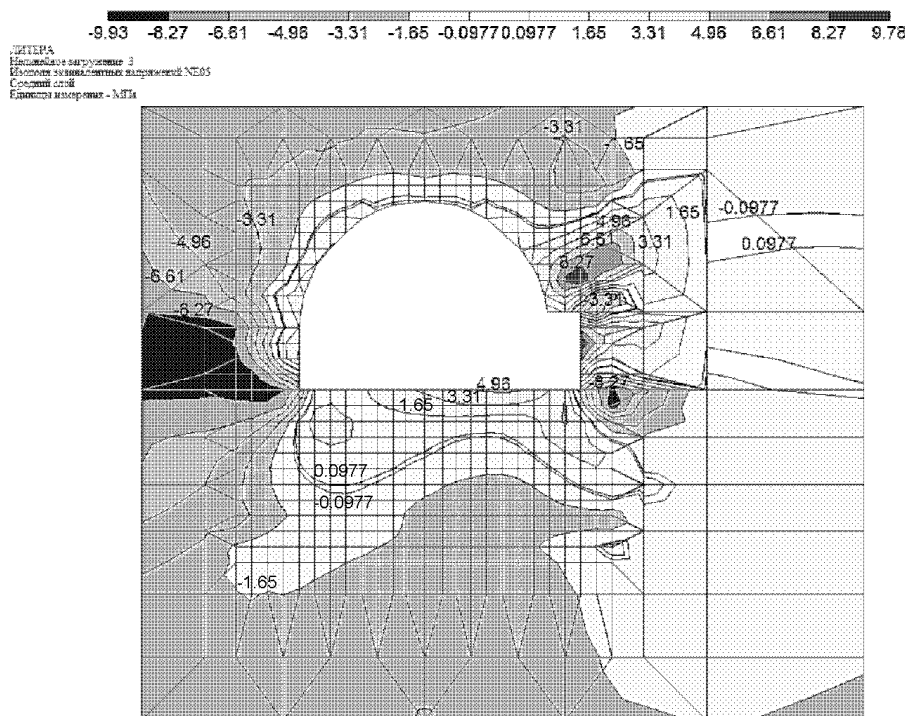


Рисунок 5 – Распределение эквивалентных напряжений вокруг выработки при 4-ой схеме анкерования на расстоянии 9,8 м за лавой

На расстоянии 5,6 м за лавой до установки БЖБТ зона растягивающих напряжений достигает 2,0 м в кровле, 4,25 м в почве и распространяется над и под лавой. Наибольшие напряжения сосредоточены на сопряжении лавы с подготовительной выработкой, где их значения равны 5,82 МПа.

На расстоянии 9,8 м за лавой, где установлены и вступают в работу БЖБТ, область растягивающих эквивалентных напряжений, показанная на рисунке 5, уменьшается до 0,35 м в кровле и боках, 1,25 м – в почве выработки.

Максимальные напряжения 8,27 МПа действуют в кровле; над БЖБТ -3,31 МПа и под ними в почве 8,27 МПа. Со стороны массива в пласте прослеживаются сжимающие напряжения -8,27 МПа.

На основании исследования МКЭ 4-х схем обоснована схема установки анкеров в почве выработки по смещённым диагоналям параллелепипеда с наклоном анкеров в сторону выработанного пространства, при которой достигаются минимальные поднятия почвы выработки и напряжения вокруг выработки, максимальные усилия, возникающие в анкерах.

#### **Библиографический список**

1. Гапеев С.М. *Закономірності втрати пружно-пластичної стійкості складноструктурного масиву навколо одиної виробки: автореф. канд. техн. наук/ С.М. Гапеев. – Днепропетровськ: 2004. – 16 с.*

2. Зборицк М.П. Пути уменьшения выдавливания пород почвы в участковых выработках / М.П. Зборицк, М.А. Ильяшов // Уголь Украины, 2008. – №11. – С. 13-17.

3. Копылов А.Ф. Механизм деформирования надрабатываемых выработок / А.Ф. Копылов, В.В. Назимко // Уголь Украины, 1994. – №5. – С. 10-12.

4. Касьян Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах.: дисс. ...доктора техн. наук / Касьян Николай Николаевич. – Донецк, 2002. – 358 с.

5. Круковский А.П. Опыт проведения подготовительной выработки вприсечку к выработанному пространству/ А.П. Круковский // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: 6 междунар. научная школа молодых учёных и специалистов, 11-20 ноября 2009г. – М.: ИПКОН РАН, 2009. – С. 117-120.