

УДК 622.25

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОФИЛЕЙ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕПЕЙ**

**Абдибаитов Ш.А., Асанова Ж.М. , Хусан Б.**

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР,  
Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Казахстан

В статье рассмотрены отдельные результаты по увеличению устойчивости металлических арочных крепей в зонах повышенного горного давления.

**Ключевые слова:** угольный бассейн, горные выработки, крепи, методы, шахта, деформация, устойчивость

## **ТИРӨӨЧТӨРДҮН ДЕФОРМАЦИЯЛЫК МҮНӨЗДӨМӨЛӨРҮНӨ ПРОФИЛЬ КҮЧӨТКҮЧТӨРҮНҮН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ**

**Абдибаитов Ш.А., Асанова Ж.М. , Хусан Б.**

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын  
Геомеханика жана жер казынасын иштетүү институту,  
А.Сагинов атындагы Караганда техникалык университети, Казахстан

Макалада тоо тектеринин басымы жогору болгон аймактарда металл арка таянычтарынын туруктуулугун жогорулатуу боюнча жеке жыйынтыктар талкууланат

**Баштапкы сөздөр:** көмүр бассейни, кен иштетүү, таяныч, ыкмалар, шахта, деформация, туруктуулук

## **STUDY OF THE IMPACT OF PROFILE ENHANCERS ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SUPPORTS**

**Abdibaitov Sh.A., Asanova Zh.M., Husan B.**

Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National  
Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic  
Karaganda Technical University named after A.Saginov, Kazakhstan

The article discusses individual results on increasing the stability of metal arch supports in areas of high rock pressure

**Keywords:** coal basin, mine workings, support, methods, mine, deformation, stability.

## **Введение**

Целью работы является увеличение устойчивости металлических арок крепей, используемых для поддержания горных выработок, путем усиления тех участков, где происходит наибольшее воздействие изгибающего момента.

В настоящее время одной из основных задач в области подземной добычи угля является повышение эффективности и устойчивости горнодобывающих предприятий. Это достигается, в том числе, путем поддержания в рабочем состоянии и снижения затрат на обслуживание выработок, что, естественно, сказывается на общей себестоимости добываемого угля [1,2].

Площадь Карагандинского угольного бассейна равна 3.6 тыс. км<sup>2</sup>, и его промышленными центрами являются города Караганда, Сарань, Шахтинск, Абай. Запасы угля в бассейне, исследованные на глубину до 600 м (в некоторых местах – до 800-900 м), оцениваются в 9.3 млрд т по данным на 2018 год. Предварительная оценка, проведенная в 1984 году, составляет 5 млрд т. Протяженность бассейна составляет 120 км при ширине 30-60 км. На юге и западе бассейн ограничен зонами разломов, а на севере и востоке – эрозионным срезом продуктивных каменных угольных отложений.

На текущий момент на шахтах Карагандинского угольного бассейна применяется исключительно комбайновая технология для проходки горных выработок, полностью отказавшись от опасного и трудоемкого буровзрывного метода. Процесс крепления горных выработок занимает значительную часть времени и трудозатрат в общем цикле проходки, расходуя от 25 до 50% ресурсов. Этот этап является ключевым

фактором, снижающим скорость выполнения горных работ и общую производительность труда проходчиков.

Крепи, изготовленные из массивных профилей специального проката (например, арочные крепи), в условиях выраженного напряженного состояния горного массива не обеспечивают необходимой устойчивости и требуют регулярного технического обслуживания для поддержания горных выработок в безопасном состоянии. Доля других типов крепежных систем, применяемых при создании горизонтальных и наклонных горных выработок, относительно невелика. Она составляет 8.6 % для монолитных бетонных крепей, 2.9 % для тубинговых, 1.1 % для анкерных, 1.1 % для железобетонных стоек с металлическими верхушками и 0.7 % для деревянной крепи [3,4,6].

На рисунке 1 представлены технико-экономические показатели крепления горных выработок с использованием различных видов крепежных систем, применяемых на шахтах Карагандинского бассейна.

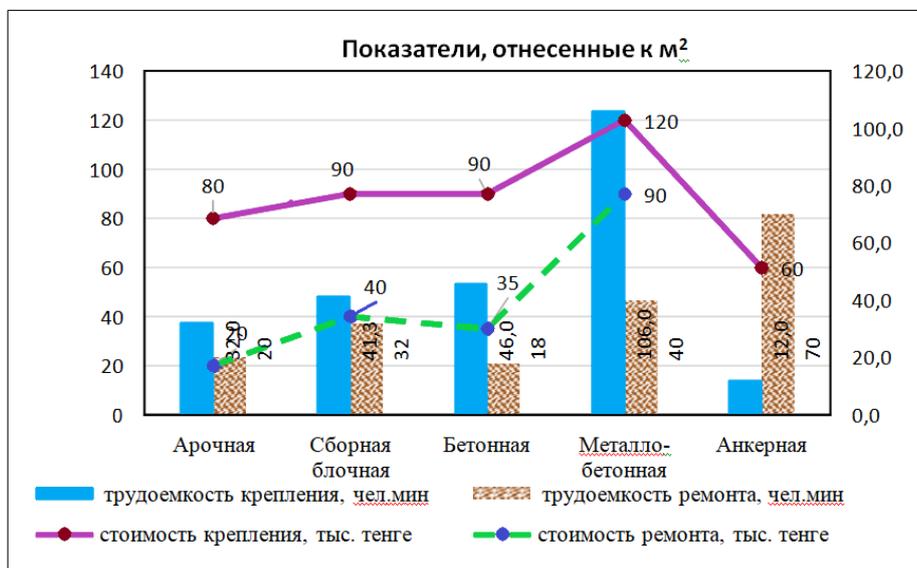


Рис. 1. Технико-экономические показатели видов крепления горных выработок

Улучшение устойчивости обнаженных горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна представляет собой сложную задачу, обусловленную значительным разнообразием горно-

геологических условий. Это включает в себя различия в мощности и угле падения пластов, строении, прочности окружающих пород и другие факторы.

Наиболее существенное влияние оказывают следующие горнотехнические факторы:

1) Ширина выработки. При увеличении ширины выработки от 4 до 5 м смещения пород в выработке увеличиваются на 23-28 %;

2) Глубина расположения. Основной причиной ухудшения состояния подготовительных выработок является снижение отношения прочности пород к геостатическому давлению с ростом глубины горных работ. Увеличение глубины расположения от 450 до 600 м в пластах мощностью 1.6-3.5 м ведет к росту смещений кровли в породах с  $\sigma_{сж} < 45$  МПа в 3-3.5 раза, в породах  $\sigma_{сж} = 45-80$  МПа – соответственно в 2.0-2.4 раза.

3) Способ охраны выработки. В массиве угля – смещение кровли, представленной прочными породами  $\sigma_{сж} < 50-65$  МПа, не превышает 40-50 мм, породами средней прочности  $\sigma_{сж} < 30-40$  МПа – 70-90 мм и слабыми породами  $\sigma_{сж} < 15-30$  МПа – 110-150 мм. Влияние опорного давления на выемочные штреки на глубине 300-400 м распространяется на 40-45 м впереди забоя лавы, а на глубине более 500 м – на 60-80 м. До попадания в зону влияния очистных работ смещение кровли выемочных выработок происходит обычно равномерно, в зоне влияния очистных работ протекает в 1.5-2.5 раза быстрее со стороны лавы, чем со стороны массива угля. Бесцеликовые выемочные выработки лав испытывают вредное взаимное влияние очистных и подготовительных работ в соседних столбах:

- не менее 50-75 м на глубине расположения до 450 м;
- 80-100 м на глубине расположения более 450 м;
- 100-120 м – на глубине расположения более 600 м.

В выработках, которые проводили вприсечку через 10-12 мес. и более после отработки соседней лавы, смещение пород кровли за срок службы в 1.8- 2.0 раза меньше, чем в выработках, которые проводили до отработки соседнего столба.

Таким образом, увеличение глубины заложения горных выработок и ухудшение условий их поддержания приводят к стабильному росту использования тяжелых специальных профилей (СВП22, СВП27, СВП33) и снижению применения легких (СВП17, СВП19). Ухудшение условий поддержания горных выработок также вызывает значительный объем ремонтных работ.

На текущий момент исследования по совершенствованию металлической крепи ведутся в трех основных направлениях [4,5,6]:

- выбор оптимальной формы;
- обеспечение условий контакта между крепью и окружающим породным массивом;
- улучшение функциональности замковой части.

Все вышеперечисленные мероприятия уже не оказывают существенного влияния на улучшение эксплуатационных характеристик выработок с металлической рамной крепью. Таким образом, можно утверждать, что с увеличением глубины разработки применение традиционных конструкций крепи поддерживающего типа ограничено. По мировому опыту, совершенствование конструкций крепи должно идти в направлении использования комбинированных систем, где важным конструктивным элементом является сам приконтурный породный массив, укрепленный различными методами. К таким укрепляющим элементам относятся анкеры различных конструкций, зонтичные конструкции для особых условий и укрепляющие растворы.

Исследования, проведенные на шахтах Германии, указывают [7,8], что при глубине 1400 метров на 80% протяженности штреков еще возможно управлять горным давлением, если применять все доступные

технические решения, в первую очередь: заполнение закрепного пространства, создание околострековых литых полос, разгрузка массива, его укрепление с использованием связующих или анкеров, а также комбинация этих мероприятий (см. рисунок 2). Дополнительные меры включают в себя разработку стратегий при проектировании подготовки очистного участка, такие как размещение выработок в зонах с пониженным давлением и использование методов, снижающих воздействие повышенного давления со стороны лав и других факторов.



Рис. 2. Развитие систем крепи с ростом глубины разработки по [8]

Учитывая текущий масштаб использования стальной крепи в угольных шахтах, который достигает до 90%, и осознавая существенное воздействие этого фактора на себестоимость угля, увеличение металлоемкости выработок и увеличение частоты их перекрепления, особенно при переходе горных работ на значительные глубины (700-1000 м), становится необходимым рассмотреть пути повышения эффективности конструкций крепей, а также уменьшения их стоимости и материалоемкости.

Принятый экстенсивный подход к увеличению несущей способности крепи, который предполагает использование более массивных профилей и увеличение плотности установки рам с ростом глубины разработки и площади сечения выработок, не является оптимальным

решением. Этот подход не решает проблему обеспечения надежной эксплуатации выработок и не соответствует принципам экономической целесообразности.

В данной статье рассматривается метод решения проблемы путем использования усилителей профилей типа специального взаимозаменяемого профиля. Эти усилители изготавливаются из отрезков металлопроката с теми же типоразмерами, что и сама крепь, и устанавливаются на участках верхняка арочной крепи, где предполагается наибольшее воздействие изгибающих моментов от внешних нагрузок. Длина отрезков СВП составляет 0,2-0,3 м.

## **2. Методика решения**

Для обоснования предлагаемого решения были проведены расчеты изгибающих моментов и нормальных сил в металлической арочной трехзвенной крепи, выполненные с использованием программного комплекса ANSYS на компьютере. Эти расчеты проводились для конкретных, существующих условий, что позволило определить необходимый типоразмер крепи. Анализ напряженно-деформированного состояния горного массива и крепи позволил получить обоснование для предложенного решения.

Задача рассматривалась в трех вариантах:

- крепь без усилителей;
- крепь с одним усилителем на участке с максимальным изгибающим моментом;
- крепь с тремя усилителями - на участках с наибольшими изгибающими моментами;

Для математического моделирования использовалась крепь из спецпрофиля СВП-22.

После создания геометрической модели исследуемого объекта были заданы начальные параметры материала арочной крепи. Так как

конструктивные элементы крепей изготавливаются из горячекатанной стали, то при расчетах были приняты соответствующие деформационные и прочностные характеристики этого материала:

- модуль упругости  $2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>;
- коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ ;
- прочность на растяжение  $4 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>.

Эти характеристики были использованы при расчетах в процессе моделирования полной диаграммы деформирования. Отображение полной диаграммы деформирования позволяет учесть возникновение и развитие пластических деформаций в конструкции, что часто наблюдается в условиях шахт. Такой подход способствует повышению адекватности моделирования реальному объекту.

Процесс начался с расчета напряженно-деформированного состояния арочной крепи без применения усилителей. Затем был проведен моделирование усилителя длиной 30 см с тем же типоразмером, что и вся крепь, размещенного в центре верхней части крепи, на участке с максимальным изгибающим моментом. Последующее размещение усилителей производилось в трех точках с наибольшими изгибающими моментами. Результаты статического анализа были получены в ходе постпроцессорной обработки и включали в себя значения напряжений по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , а также максимальные перемещения.

### **3. Результаты исследования**

Задача оценки устойчивости пластовой выработки представляется в более обширном контексте по сравнению с традиционными представлениями. Она включает в себя прогнозирование состояния выработки с точки зрения сохранения или потери ее эксплуатационных характеристик в соответствии с комплексом конструктивно-технологических стандартов для обеспечения надежного функционирования. Эти стандарты также учитывают соответствующие

требования по правилам безопасности. Оценка выполнения этих требований осуществляется по эпюрам прогнозируемых перемещений контура выработки и их сравнению с допустимыми значениями на определенных участках ее периметра. В случае несоответствия требованиям по надежному и безопасному функционированию выработки, вопрос о ее устойчивости, как искусственного горнотехнического сооружения, становится критическим. Это обуславливает необходимость проведения определенных ремонтно-восстановительных работ перед дальнейшей эксплуатацией.

Графическое отображение напряженно-деформированного состояния арочной крепи по результатам моделирования представлено на рисунках 4-6. Снизу приводится линия соответствия напряжений различным цветовым оттенкам.

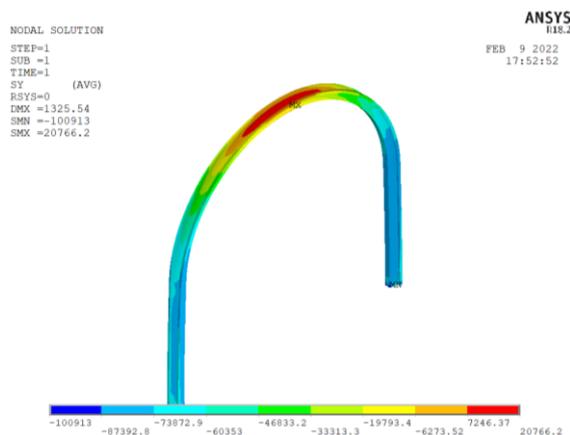


Рис. 4. Напряжения в арке крепи без усилителей

Красное поле напряжений с максимальным значением 20.76 МПа в неусиленной арке указывает на область концентрации напряжений, что является следствием интенсивного сдвига приконтурных пород в кровле и боках выработки, особенно характерного для слабых пород слоистого массива.

Выделение максимумов напряжения на закругленном участке свидетельствует о формировании пластических шарниров по контуру

рамы. Это явление приводит к повышенной податливости в наиболее нагруженных сечениях, но одновременно исключает возможность безопасной эксплуатации выработки. Такие результаты позволяют лучше понять поведение структуры крепи в условиях интенсивных деформаций и принять соответствующие меры для обеспечения устойчивости и безопасности выработки.

Рисунок 5, отображающий напряженно-деформированное состояние арочной крепи с одним усилителем, демонстрирует, что максимальная концентрация напряжения по оси  $u$  составляет 18.44 МПа. Отметим, что напряженно-деформированное состояние рамной крепи при использовании одного усилителя подвержено значительному воздействию как прочностных, так и деформационных характеристик соседних породных слоев. В связи с этим, для обоснованного выбора рамной крепи выработки крайне важно учитывать взаимосвязь с основными геомеханическими параметрами, оказывающими влияние.

Этот аспект подчеркивает необходимость комплексного анализа, включая как прочностные характеристики крепи, так и ее взаимодействие с окружающим горным массивом. Исследования такого рода могут служить основой для обоснованного выбора оптимальных параметров крепи, обеспечивающих безопасность и стабильность выработки.



Рис. 5. Напряжения в арке крепи при применении одного усилителя

Описание воздействия повышенных вертикальных сжимающих напряжений и пониженных горизонтальных напряжений на рамную крепь, представленное на Рисунке 5, указывает на формирование концентраций приведенных напряжений и появление протяженных областей пластического состояния в районе криволинейной части стойки и ее опоры. Эти явления могут представлять риск для устойчивости стоек и рамной крепи в целом.

Повышенные вертикальные сжимающие напряжения и пониженные горизонтальные напряжения влияют на механические свойства крепи и могут вызывать деформации, что в свою очередь может сказаться на устойчивости стоек и рамной конструкции в целом. Эти результаты подчеркивают важность тщательного проектирования и анализа конструкций крепи в условиях динамического воздействия горного давления для обеспечения их надежности и безопасности в горнодобывающих условиях.

На рисунке 6 – арочная представлена крепь с тремя усилителями. Как видно из шкалы напряжений, максимальное напряжение по оси у равно 15.01 МПа.

Данные о рамной крепи, представленные на рисунке 6 информируют об её относительной стабильности в напряженном состоянии, независимо от деформационных характеристик близлежащих породных слоев. Это стабильное напряженное состояние связано с повышенной деформационной способностью окружающих пород в предельном состоянии, что обеспечивает более равномерное распределение нагрузок по раме. Также важным фактором является появление пластических шарниров в раме, которые снижают максимумы изгибающего момента вдоль её контура.

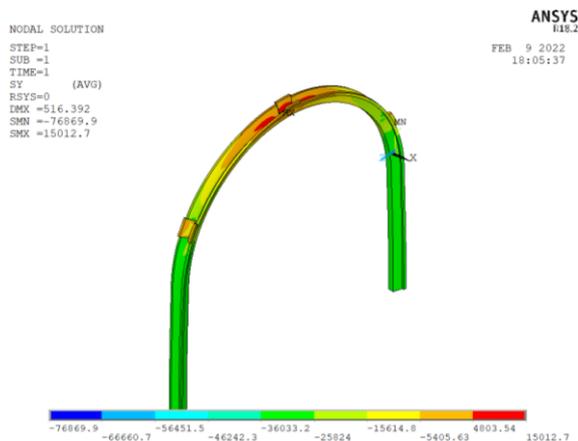


Рис. 6. Напряжения в арке крепи при 3 усилителях

Отмечается, что изменение модуля деформации породных слоев оказывает несущественное воздействие на максимальные значения как при пониженных, так и при повышенных прочностных характеристиках. Эти результаты подчеркивают значимость деформационной способности окружающих пород в устойчивости и надежности конструкции рамной крепи в условиях горнодобывающей деятельности.

Полученные в результате моделирования данные систематизированы и приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения НДС в арке крепи

| Параметр                                  | Крепь без усилителей | Крепь с 1 усилителем | Крепь с 3 усилителями |
|---|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Максимальные перемещения, мм              | 132.554              | 120.34               | 51.64                 |
| Напряжения по оси x, МПа                  | 21.74                | 24.96                | 25.69                 |
| Напряжения по оси y, МПа                  | 20.76                | 18.44                | 15.01                 |
| Напряжения по оси z, МПа                  | 27.04                | 19.32                | 12.87                 |
| Эквивалентное напряжение (по Мизесу), МПа | 97.99                | 86.57                | 68.61                 |

Уменьшение напряжений по бокам и впереди выработки, как отражено в результатах моделирования с арочным усиленным креплением, представляет собой положительный фактор. Этот эффект

может содействовать снижению вероятности внезапных выбросов и деформирования, что, в свою очередь, способствует увеличению несущей способности выработки [8].

## **Выводы**

Применение таких численных моделей и методов анализа важно для оптимизации конструкции крепи и повышения безопасности и эффективности горнодобывающих операций. Ваши наблюдения подчеркивают значимость использования современных инженерных методов для более точного представления о поведении горного массива и эффективном проектировании крепежных систем.

Создание базы данных наиболее часто встречающихся вариантов и выведение функциональных зависимостей между различными параметрами способствует систематизации и обобщению полученных знаний. Такой подход позволяет упростить поиск оптимальных решений, а также снизить трудоемкость при выборе конструкции крепи для безремонтного поддержания горных выработок, особенно в подготовительных пластах, находящихся в зоне повышенного влияния очистных работ.

Эффективное использование этих данных может значительно облегчить инженерный процесс и улучшить производительность в горнодобывающей индустрии. Такой подход также способствует оптимизации использования ресурсов и сокращению времени, необходимого для разработки и внедрения новых конструкций крепи.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. -М.: Недра, 1976. -С. 35-45.
2. Томилов А.Н. Обоснование параметров проведения горных выработок с использованием технологии анкерного крепления.

Караганда/ Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD). -2020.

3. Мартыненко И.И., Солуянов Н.О., Верещагин В.С. Аналитическое представление напряженного состояния массива в окрестности горной выработки с учетом срезающих усилий в анкерах// Перспективы развития Восточного Донбасса. Часть 1: сб. научных трудов /Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ. -Новочеркасск, 2007. -С. 44-48.
4. Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т., Бахтыбаев Н.Б. О дилатансии горных пород, Вестник КазНТУ, № 5, 2008. -С. 45-50.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. -М.: Недра, 1992. -224с.
6. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявления горного давления. — М.: Недра, 1982. - 192с.
7. Цай Б.Н., Судариков А.Е. Механика подземных сооружений. Учебное пособие. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2007. -159с.
8. Байкенжин М.А., Асанова Ж.М. Повышение несущей способности шахтной рамной крепи путем применения усилителей профилей металлического проката // Горный журнал. 2021. №5. -С.36-41.