

Министерство образования Украины
Днепропетровский горный институт

На правах рукописи

ИВАНЧИШИН Сергей Яковлевич

УДК 622.28.0424(477.61/.62)

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
АРОЧНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ
ШАХТ

05.15.04 - Шахтное строительство

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Днепропетровск - 1992

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00814406 (N)

Министерство образования Украины

Днепропетровский горный институт

На правах рукописи

ЛВАНЧИШИН Сергей Яковлевич

УДК 622.28.0424(477.61/.62)

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
АРОЧНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ
ШАХТ

05.15.04 -Шахтное строительство

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1992

Работа выполнена в Днепропетровском горном институте

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
академик АИИ Украины А.Н.Шашенко

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Л.Я.Парчевский
кандидат технических наук
М.А.Выгодин

Ведущая организация: Днепропетровский государственный институт
проектирования угольных предприятий
(Днепрогипрошахт)

Защита состоится "18" XII 1992 г. в 9⁰⁰ час.

на заседании специализированного совета Д.068.08.03

в Днепропетровском горном институте

по адресу: 320014, г.Днепропетровск, пр.К.Маркса,19.
корп.1 ауд.102

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "18" XI 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,
профессор



В.И.Бондаренко



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В экономике Украины угольная промышленность является одной из ведущих, обеспечивая добычу ценного энергоносителя и сырья для коксохимического производства. В особенности выросла роль угля в последние годы, характеризующиеся становлением Украины как самостоятельного государства и переходом от плановых к рыночным экономическим отношениям. В этих условиях существенно выросли цены на основные крепежные материалы, такие как лес, металлы, вяжущие. Снизились объемы их поставок. Соответственно это привело к удорожанию процессов, связанных с добычей угля, в особенности проходки и крепления горных выработок.

В этой связи исследования, связанные со снижением металлоемкости крепи и повышением устойчивости капитальных и подготовительных выработок, являются актуальными.

Целью работы является обоснование и разработка способов повышения устойчивости протяженных выработок, обеспечивающих снижение металлоемкости крепи.

Идея работы заключается в учете закономерностей совместного деформирования системы "крепь-порода" при разработке мероприятий по повышению устойчивости горных выработок.

Методы исследований. В основу исследований положены методы строительной механики, теории вероятностей, обобщения и анализа натуральных и лабораторных экспериментов.

Основные научные положения, защищаемые в диссертации, и их новизна:

- установлено, что оптимальная форма металлической арочной крепи не зависит от величины внешней нагрузки, а определяется соотношением ее боковой и вертикальной составляющих;
- доказано, что наличие горизонтальных смещений в местах контакта металлической арочной крепи с почвой выработки приводит к увеличению изгибающих моментов в замках податливости в 1,5-2,0 раза и преждевременному разрушению конструкции;
- установлено, что некачественная забутовка закрепного пространства снижает несущую способность металлической арочной крепи в 3-4 раза.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью поставленных задач, хорошей сходимостью результатов аналитических, лабораторных и натур-

ных исследований (в 85% случаев отклонение прогнозируемых величин от измеренных не превышало 10–15%), проверкой технических решений в условиях выработок действующей угольной шахты.

Практическое значение работы. Научные результаты работы явились практической основой для разработки следующих технических решений:

- для условий шахт ПО "Добропольеуголь" обоснована целесообразность применения и внедрена металлическая крепь с переменным радиусом арочной части;
- разработана технология заполнения закрепного пространства с помощью рукавов-оболочек, обеспечивающих надежный контакт крепи с породным контуром;
- доказана необходимость усиления замковой части крепи, что позволило повысить устойчивость выработок на 25–40%.

Реализация результатов исследований. Основные результаты работы использованы при составлении паспортов крепления выработок шахты им.РККА ПО "Добропольеуголь" и рекомендованы для внедрения на других шахтах объединения.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах кафедры строительства шахт и подземных сооружений ДГИ (г.Днепропетровск, 1989, 1990, 1991), на семинаре кафедры строительства шахт и подземных сооружений КГМИ (Коммунарск, 1989), на техсовете ПО "Добропольеуголь" (Доброполье, 1992).

Публикации. Результаты работы опубликованы в 2 статьях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 93 наименований и приложений. Она содержит 159 страниц машинописного текста, 39 рисунков и 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Сооружение и поддержание выработок шахт ПО "Добропольеуголь" осуществляется в породах, обладающих низкой прочностью, слабой устойчивостью в обнажениях, склонных к размоканию и пучению. Шахтные поля имеют ряд геологических нарушений.

В последние годы общая протяженность поддерживаемых выработок по объединению составила 520–540 км/год, из которых от 20 до 60% находятся в состоянии, требующем ремонта. Кроме того, примерно 25%

неремонтируемых выработок имеют сечения, не удовлетворяющие требования Правил безопасности. Динамика изменения объемов выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, применительно к шахте им.РККА приведена на рис. I.

Динамика изменения объемов выработок,
находящихся в неудовлетворительном
состоянии

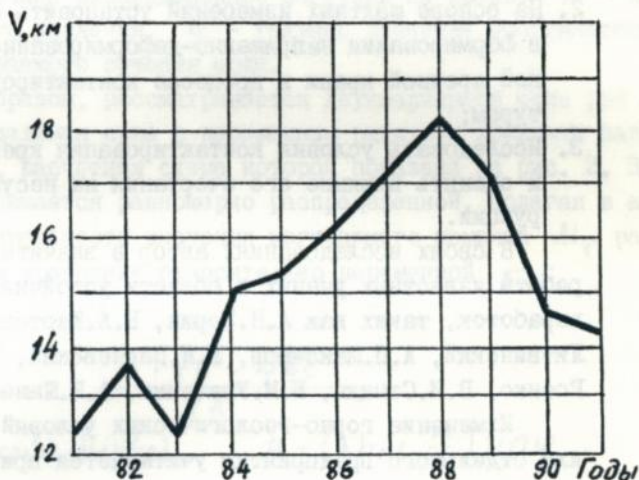


Рис. I.

Из рисунка следует, что тенденция к росту объемов ремонтных работ достаточно устойчива.

Основным видом крепи в капитальных и подготовительных выработках на шахтах ПО "Добропольеуголь", как и в целом на угольных шахтах Украины, является металлическая крепь, арочной формы, податливая. Шахты объединения потребляют в год 25-35 тыс. тонн металлокрепи. До 25% вновь проводимых выработок крепят повторно используемой крепью. В последние годы из-за резкого роста цен на прокатные профили объем повторно используемой металлической крепи вырос практически вдвое. Использование крепи повторно не решает проблему полного обеспечения ее проходческих работ, крепь остается дефицитной, а в настоящее время и очень дорогой, продукцией, требующей рационального ее применения. Решение задачи ра-

ционального применения металлической крепи при одновременном повышении устойчивости выработок составляет предмет диссертационных исследований. Для достижения поставленной цели в работе необходимо было решить ряд промежуточных взаимосвязанных задач:

1. Исследовать напряженно-деформированное состояние металлической арочной крепи и на этой основе установить такую рациональную форму конструкции, при которой несущая способность ее была бы максимальной;
2. На основе шахтных измерений установить основные закономерности в формировании напряженно-деформированного состояния металлической арочной крепи в процессе контактирования ее с породным контуром;
3. Исследовать условия контактирования крепи с породным контуром и оценить влияние его очертания на несущую способность конструкции.

В своих исследованиях автор в значительной мере опирался на работы известных ученых в области устойчивости подземных горных выработок, таких как А.Н.Зорин, Б.А.Картозия, К.В.Кошелев, Г.Г.Литвинский, А.П.Максимов, Л.Я.Парчевский, Г.С.Пиньковский, А.Н.Роечко, В.И.Стыцин, Б.М.Усаченко, А.Н.Шашенко и др.

Изменение горно-геологических условий в пределах региона или отдельного предприятия учитывается при проектировании и проведении выработок, в основном, путем изменения плотности установки рам и подбором типоразмера спецпрофиля, из которого изготавливаются элементы арок крепи. При этом, независимо от условий, полагают, что форма крепи является наиболее целесообразной. Существуют, однако, исследования, доказывающие, что такое предположение не является бесспорным. В частности, отход от общепринятых представлений о форме крепи дал положительные результаты при разработке модернизированной крепи КШПУ. В основу этих разработок, выполненных А.В.Шмиголем, положен теоретико-экспериментальный метод, возможность применения которого ограничена условиями шахт Западного Донбасса.

В отличие от этого в настоящей диссертации оптимизация параметров в арочной крепи достигается с помощью аналитического метода с последующей проверкой результатов в натуральных условиях. Формулируется задача следующим образом: рассматривая систему "крепь-порода" как линейно деформируемую, определить оптимальный закон изменения радиуса кривизны элементов конструкции крепи,

при которых значения возникающих в сечениях изгибающих моментов будут минимальными. Целевая функция поставленной задачи имеет вид:

$$|M(r_\varphi, h_c, \alpha, q, \lambda, \varphi)| \rightarrow \min \quad (I)$$

где r - изменяемый радиус кривизны арки, h_c - проекция длины стойки на вертикальную ось, α - угол наклона стойки, q - приведенная величина распределенной нагрузки на крепь, λ - коэффициент бокового давления, φ - текущее значение координатного угла рассматриваемого сечения арки.

Таким образом, рассматривается двухшарнирная один раз статически неопределимая арка с переменным радиусом кривизны зависящим от угла φ , расчетная схема которой показана на рис. 2. Внешняя нагрузка принимается равномерно распределенной. Полагая в качестве критерия оптимальности значения изгибающего момента M_φ равные нулю, получим уравнение относительно переменной r :

$$r = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (2)$$

где $A = \frac{1}{2}(\cos^2 \varphi + \lambda \sin^2 \varphi)$, $B = (\lambda h_c + \frac{X_1}{q}) \sin \varphi$,

$$C = \frac{1}{2}(\lambda h_c^2 - r^2) + h_c X_1, \quad X_1 - \text{величина горизонтального распора.}$$

Анализ зависимостей (2) показал, что величина r не зависит от величины внешней нагрузки, а определяется только соотношением ее горизонтальной и вертикальной составляющих - коэффициентом бокового давления λ .

На рис. 3 показано, как изменяется радиус криволинейной части арки в зависимости от этой величины и приведены различные очертания арки, при которых изгибающие моменты в сечениях отсутствуют.

Выполненные аналитические исследования прошли проверку в условиях выработок шахты им. РККА ПО "Добропольеуголь". Наблюдения за крепью показали, что устойчивость выработки на этих участках возрастает, примерно, в два раза.

Как было показано выше, основной величиной, определяющей форму арки, является коэффициент бокового давления. Для определе-

Расчетная схема арки с переменным радиусом кривизны

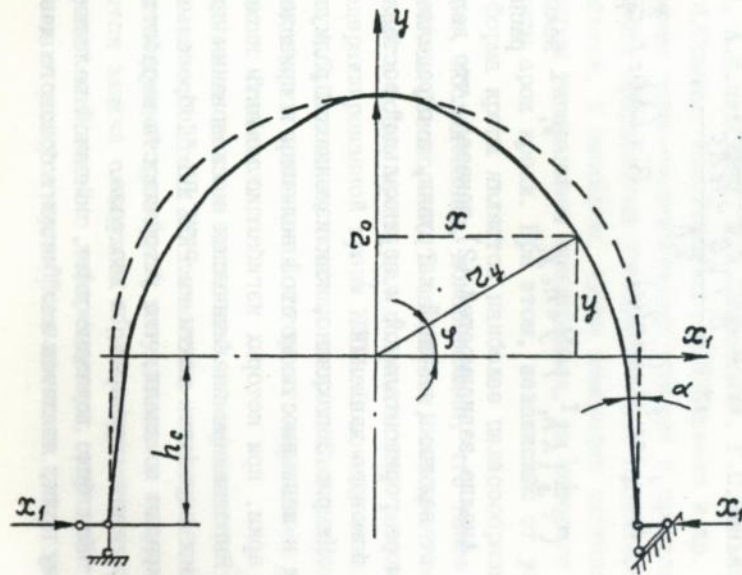


Рис. 2.

Изменение радиуса криволинейной части арки в зависимости от коэффициента бокового давления

$\alpha = 5^\circ$

$\lambda = 0,33$
 $\lambda = 0,5$
 $\lambda = 0,75$
 $\lambda = 1,0$

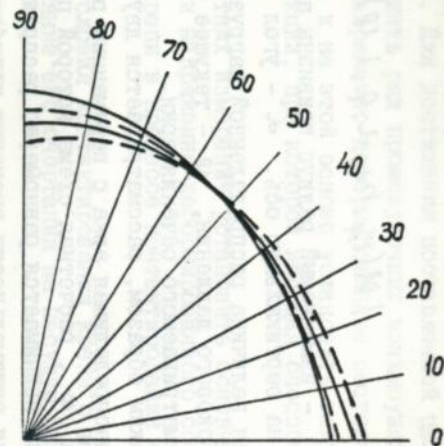


Рис. 3.

ния этой величины была разработана специальная методика, основанная на измерениях радиуса кривизны стандартных арок металлической крепи и последующей обработки результатов. С помощью кривизномера на арке определялась величина приращения радиуса и рассчитывались значения изгибающих моментов в двух характерных точках: при $\varphi = 0$ и $\varphi = 90^\circ$. Затем для этих же точек составляются два уравнения изгибающих моментов. Решая совместно эти уравнения, получим выражения, позволяющие определить величину λ . Установлено, что для выработок шахты им.РККА величина коэффициента бокового давления в среднем равна 0,38. Таким образом, задача установления оптимальной формы арочной крепи решена.

Анализ состояния протяженных выработок шахт ПО "Доброполье-уголь" показал, что одними из характерных видов нарушений металлической арочной крепи является перекос элементов в районе замковых соединений. Несоблюдение технологии монтажа крепи приводит к тому, что хомуты сближаются и элементы арки начинают работать в режиме "рычага". Была поставлена и решена соответствующая задача, на основе которой высказано предположение о том, что замена хомутов с диаметром 24 мм на хомуты с диаметром 32 мм приведет к росту усилия натяжения гаек и увеличит несущую способность крепи в целом. Эксперимент по замене хомутов проводился в монтажном ходке лавы (2-я южная, пласт Л_I, горизонт 310 м).

Замеры изгибающих моментов по длине ходка показали, что на экспериментальном участке величина их ниже, чем на контрольных. Таким образом, замена обычных хомутов на более мощные оказалась вполне оправданной.

При расчетах металлической арочной крепи наиболее ответственным шагом является выбор расчетной схемы конструкции, наиболее адекватно отражающей ее работу в процессе нагружения. Обычно полагают, что расчетная схема арочной крепи имеет вид, показанный на рис. 4, при этом в шарнирах горизонтальные смещения равны нулю. Между тем, обследование крепи показывает, что взаимодействие ее с породным контуром протекает более сложным образом. Предлагаемая расчетная схема (рис.5) в большей степени соответствует действительности. В диссертации на ее основе решена задача о несущей способности крепи с учетом ненулевых смещений стоек в шарнирах. На рис.6 показаны результаты решения задачи. Видно, что с возрастанием горизонтальных смещений в шарнирах изгибающий момент в зависимости от условий может увеличиваться в 3-9 раз.

Типичная расчетная схема
арочной крепи

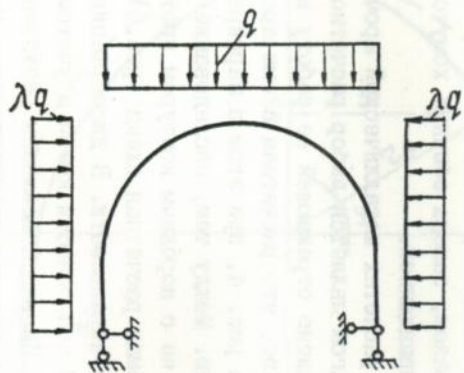


Рис. 4.

Предлагаемая расчетная схема
арочной крепи

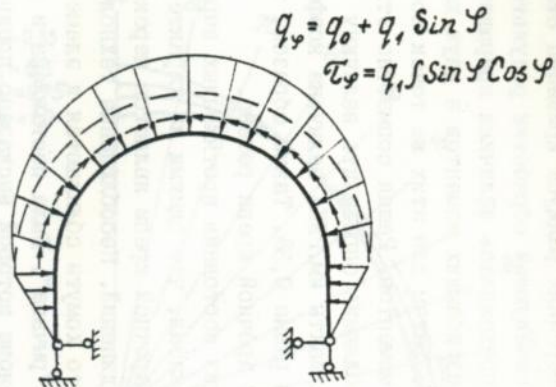


Рис. 5.

Для проверки результатов аналитических исследований была разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния металлической арочной крепи в натуральных условиях. Измеряя с помощью деформометра приращения радиуса кривизны h_i в фиксированной i -ой точке и зная начальное значение изгибающего момента в первой точке $i = 1$, можно определить по предлагаемым формулам изгибающие моменты по длине арки и построить соответствующую эпюру:

$$\Delta M_i = M_{i-1} - (h_i - h_{i-1}) \frac{2EJ}{b^2}, \quad (3)$$

где EJ - жесткость профиля, b - база кривизномера-деформометра.

По известным значениям изгибающих моментов можно оценить и величину нагрузки на крепь, ее вертикальную и горизонтальную составляющие:

$$M_{0^\circ} = \lambda q \frac{h_c}{2} + h_c q (1,44\lambda - 0,58), \quad (4)$$

$$M_{90^\circ} = \lambda q \frac{(h_c + R_s)^2}{2} - \frac{qr^2}{2} - q(h_c + r)(1,44\lambda - 0,58) \quad (5)$$

где M_{0° и M_{90° - измеренные значения изгибающих моментов в точках при $\varphi = 0$ и $\varphi = 90^\circ$.

Уравнения (4) и (5) содержат два неизвестных q и λ , которые легко могут быть определены.

На рис. 7 приведены эпюры изгибающих моментов, построенные по результатам натуральных измерений. Форма эпюр имеет отличия по сравнению со стандартными, полученными в результате чисто аналитических расчетов. Однако они существенно ближе соответствуют эпюрам, полученным в результате расчетов по схемам, учитывающим факт смещения стоек крепи внутрь выработки. Это подтверждает адекватность предлагаемых расчетных схем реальным условиям работы крепи.

Эффективное использование несущей способности крепи возможно только в условиях полного ее контакта с породным контуром. По технологии такой контакт должен достигаться за счет забутовки закрепного пространства породой, остающейся от проходки. Обследование выработок шахт ПО "Добропольеуголь", закрепленных металлической арочной крепью, показало, что в верхней части арки

Зависимость максимального изгибающего момента от смещения стоек при различных f и k и $\lambda=0,5$

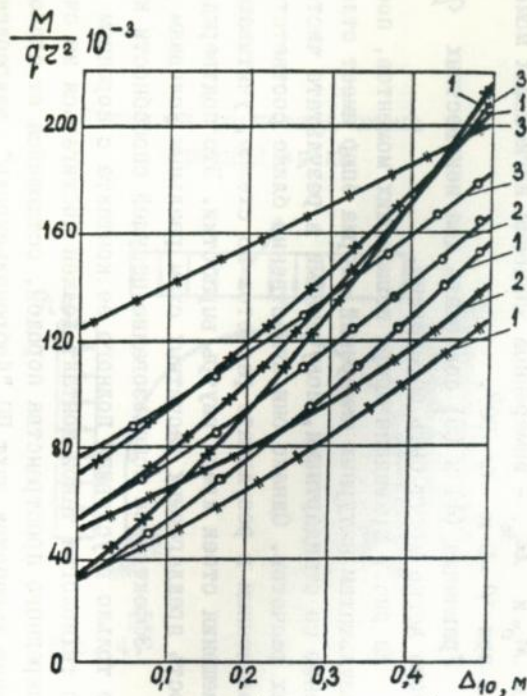


Рис. 6. $\times \times$ $k=0,25$; 1- $f=0$
 $\circ \circ$ $k=0,5$; 2- $f=1$
 $+ +$ $k=0,75$; 3- $f=2$

Эпюра изгибающих моментов, построенная по результатам натуральных измерений

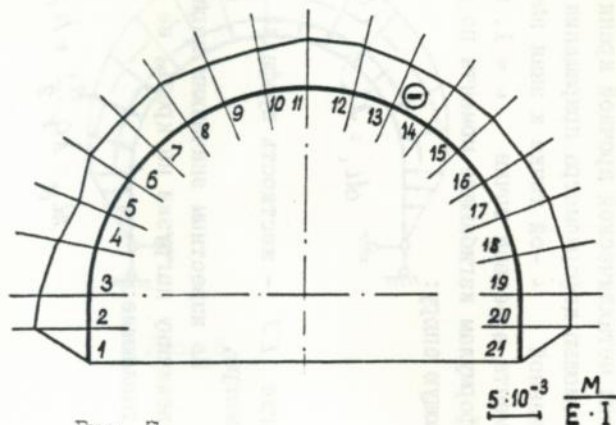


Рис. 7.

практически всегда имеется пространство, не заполненное забутовкой. Величина его может быть оценена центральным углом, значения которого по длине выработки изменяются от 60 до 80°. В диссертации поставлена и решена задача о влиянии неполного контакта на несущую способность арочной крепи. Расчетная схема этой задачи показана на рис.8. Решение ее выполнено методами строительной механики. Результаты его приведены на рис.9. Как следует из графиков отсутствие контакта в пределах 60–80° приводит к увеличению изгибающих моментов в 2–2,5 раза по сравнению с обычным решением, когда имеет место полный контакт с породой по контуру крепи. При незначительной же величине отсутствия контакта (5–10°) несущая способность крепи даже несколько повышается. Таким образом, качество заполнения закрепного пространства играет существенную роль при обеспечении устойчивости подземных выработок.

В качестве мероприятия, улучшающего контактные условия крепи с породным контуром, предложено использовать рукава-оболочки, изготовленные из вентиляционных труб. Диаметр рукава – 300 мм. Такой рукав укладывается в желоб крепи во время ее установки. Затем он заполняется цементно-песчаным раствором, который, затвердевая, обеспечивает требуемый контакт. Технология этого процесса отработана и применяется при проходке выработок на шахте им.РККА.

В завершение комплекса аналитических и натурных исследований устойчивости выработок с металлической арочной крепью были выполнены работы по оценке достоверной величины нагрузки на крепь. Это одна из наиболее сложных задач, относящихся к проблеме обеспечения устойчивости горных выработок.

Оценка величины нагрузки на крепь была выполнена двумя способами: по методике, разработанной в диссертации и по методике проф. Парчевского Л.Я. и проф. Шашенко А.Н.

Суть первой методики, основанной на измерении деформаций характерных точек крепи (формулы 4,5), излагалась ранее, а вторая методика основана на вероятностно-статистической оценке средней величины нагрузки на крепь. По этой методике устойчивость отдельной арки оценивается коэффициентом устойчивости k , равным отношению предельной несущей способности крепи к действующей нагрузке. Устойчивость выработки в целом оценивается показателем устойчивости ω , равным отношению суммарной длины неразрушенных участков к общей длине выработки, или отношению числа неразрушенных арок к общему их числу. Средняя величина нагрузки в пре-

Расчетная схема и решение задачи о влиянии контактных условий на величину изгибающих моментов

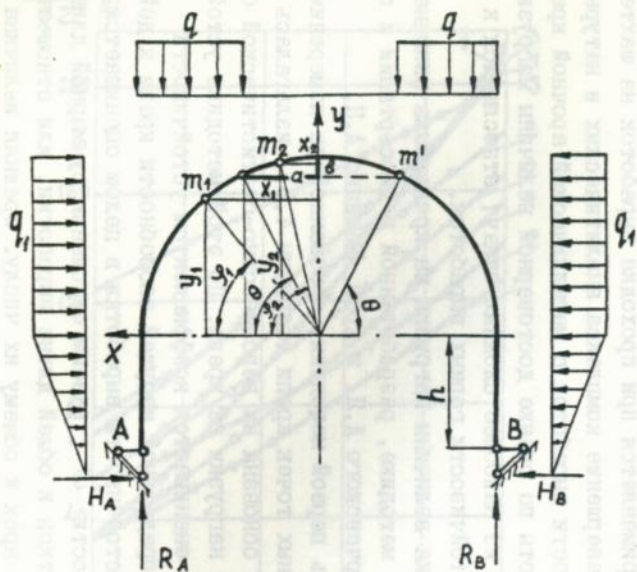


Рис. 6

Изменение изгибающих моментов в круговой части арки в зависимости от величины угла контактирования крени с породным массивом: 1- 90° ; 2- 80° ; 3- 70° ; 4- 60° .

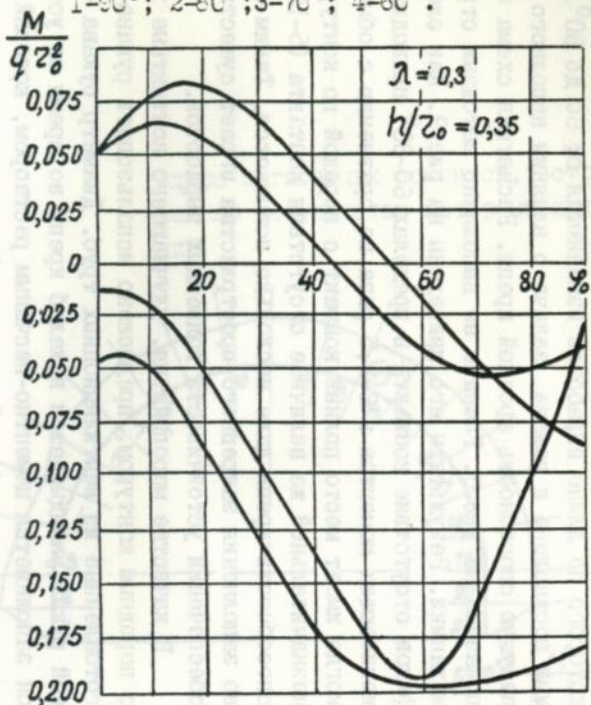


Рис. 9

делах выработки определяется следующей зависимостью:

$$m_q = R_T W N \left\{ R_o^2 / f(\lambda, k_p, \varphi_{max}) \left[1 - b_k \operatorname{arg} \varphi(1 - \omega) \right] \right\} \quad (6)$$

где R_T — несущая способность материала крепи, $f(\lambda, k_p, \varphi_{max})$ — коэффициент, зависящий от конструкции крепи (k_p), величины угла, в котором изгибающий момент максимален, коэффициента бокового давления (λ); R_o — полупролет выработки, $\operatorname{arg} \varphi(1 - \omega)$ — аргумент функции Лапласа при ее значении, равном $1 - \omega$, b_k — среднеквадратическое отклонение коэффициента устойчивости.

Величина b_k определяется на основании замеров с помощью деформометра. В таблице приведены данные измерений величины нагрузки на крепь, полученные по обеим методикам.

Выработка	Вертикальная нагрузка, $\frac{K_H}{M}$	
	Статистика	Деформометр
вентиляционный ходок пл. Л _I , гор. 107 м	47,0	50,3
монтажный ходок северного уклона № 2 пл. Л _I гориз. 310 м.	62,4	66,8
2-й южный вентиляционный штрек пл. М ₁₈ 5 гориз. 365 м	66,7	71,3
Южный ходок уклона № I пл. М ₅ гориз. 550 м	93,5	101,2

Как следует из таблицы, эти данные достаточно близки, что свидетельствует о соответствии их реальным значениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена важная научно-техническая задача повышения устойчивости протяженных выработок угольных шахт при одновременном снижении металлоемкости их крепления.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

I. Обоснована целесообразность применения в выработках угольных шахт металлической крепи с переменным радиусом арочной части.

2. Доказано, что форма арочной части крепи зависит только от соотношения боковой и вертикальной составляющих внешней нагрузки. Для условий шахт ПО "Добропольеуголь" эта величина равна, в среднем, 0,38.
3. Выполнены исследования, показывающие, что неполная забутовка закрепного пространства снижает несущую способность обычной металлической арочной крепи в 3-4 раза. Предложены и внедрены в условиях выработок шахты им.РККА эффективные рукава-оболочки, заполненные цементно-песчаной смесью, обеспечивающие качественный контакт крепи с породным контуром.
4. Разработана методика и выполнена оценка величины нагрузки на крепь горизонтальных выработок шахт ПО "Добропольеуголь", что позволило обоснованно выбирать тип профиля и шаг крепи.

Реальный экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 17 тыс.рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Шашенко А.Н., Матюшин А.П., Назарко В.П., Иванчишин С.Я. Экспериментальная проверка способов повышения устойчивости пород почвы в выработках. В сб.Рационализаторские предложения, изобретения и новые технические решения: ЦНИЭИуголь.- М., вып.5, 1989.- С.35-36.
2. Роечко А.Н., Назарко В.П., Иванчишин С.Я. Анализ состояния протяженных горных выработок шахт ПО "Добропольеуголь", Дел. в УкрНИИТИ 15.08.89, № 1897-Ук 89.

Подп. в печать 10.11.92г. Формат 60x84 I/16. Бумага типографская.
 Офсетная печать. Усл.печ.л. 1,0. Усл.кр.-отт. I,05. Уч.-изд.л. 0,98.
 Тираж 100 экз. Заказ № 9-7241.

Днепропетровский горный институт,
 320600, г.Днепропетровск, пр.К.Маркса, 19, ауд. I.102

340050, Донецк, ул.Артема, 96

468803

AB 26.066

AB 26.066