

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ДОНЕЦКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

ГАЙКО Геннадий Иванович

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА И ПАРАМЕТРОВ УСИЛЕНИЯ  
АРОЧНОЙ КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Специальность 05.15.02 — «Подземная разработка  
месторождений полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ДОНЕЦК  
1995

АВ 31.898

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00778549 (1)

Работа выполнена в Донбасском горно-металлургическом институте.

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники Украины,  
доктор технических наук, профессор  
ЛИТВИНСКИЙ Г.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
УСАЧЕНКО Б.М.  
кандидат технических наук, доцент  
НОВИКОВ А.О.

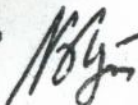
Ведущая организация: производственное объединение по добыче угля  
«Луганскуголь».

Защита состоится «10» марта 1995 г. в час. на заседании специа-  
лизованного совета Д 068.20.02 в Донецком государственном техниче-  
ском университете.

Адрес: 340000, Украина, г. Донецк, ул. Артема, 58.  
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДонГТУ.

Автореферат разослан «8» февраля 1995 г..

Ученый секретарь  
Специализированного совета,  
доктор технических наук, профессор

 В.И. ЧЕРНЯЕВ.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальность работы. Себестоимость угля и надежная работа угольных шахт во многом определяются устойчивостью подготовительных выработок. Ежегодно на шахтах Украины сооружается 1,5-2 тыс. км, а поддерживается в эксплуатационном состоянии до 16 тыс. км горных выработок. Из них более 80% закреплены стальной арочной крепью, причем существует тенденция увеличения объемов ее применения. Развитие горных работ на больших глубинах обусловило интенсификацию проявлений горного давления, что привело к деформациям стальной арочной крепи на многочисленных участках горных выработок. Ежегодные объемы перекреплений составляют 8-10% от протяженности поддерживаемых выработок, а численность рабочих, занятых на их ремонте, достигает 11% всех подземных рабочих. В этой связи особую актуальность приобретают вопросы совершенствования конструкции стальной арочной крепи, направленные на повышение надежности и снижение стоимости поддержания горных выработок.

Цель работы заключается в обосновании способа и параметров усиления арочной крепи, позволяющих повысить работоспособность и снизить материалоемкость крепления подготовительных выработок.

Основная идея работы состоит в повышении равнопрочности несущих элементов крепи путем управления напряженным состоянием и жесткостью наиболее нагруженного участка конструкции.

Методы исследований. Для достижения поставленной цели применялась комплексная методика, включающая шахтные исследования взаимодействия стальной арочной крепи с массивом пород, аналитические и лабораторные исследования грузонесущей способности и параметров ее усиления, промышленные испытания разработанной конструкции.

Научные положения, разработанные лично автором и их новизна:

1. Установлены особенности деформирования арочной крепи подготовительных выработок в условиях неравномерного ее нагружения со стороны массива пород, заключающиеся в ограничении грузонесущей способности крепи работоспособностью наиболее напряженного участка ее периметра, расположенного вблизи максимума действующей внешней нагрузки; при действии сосредоточенной силы угловые размеры опасных участков крепи не превышают 30-40 градусов по дуге верхняка.

2. Разработана статистическая модель прогнозирования устойчивости арочной крепи подготовительных выработок, учитывающая влияние основных горнотехнических факторов (глубина разработки, прочность вмещающих пород, влияние очистных работ и др.) на работоспособность крепи.

3. Аналитически и экспериментально доказана возможность увеличения равнопрочности конструкции крепи путем управления напряженным

состоянием и жесткостью наиболее нагруженного участка с учетом величины и направления действия нагрузки со стороны горных пород и особенностей взаимодействия крепи с забутовкой закрепного пространства.

4. Установлено, что наличие пассивного отпора пород повышает эффективность усиления и преднапряжения крепи в 1,3 раза, а рациональное по критерию равномерности распределения усилий расположение элемента усиления достигается путем его смещения относительно оси симметрии арки на угол, вдвое меньший угла падения пород.

Достоверность научных положений и практических рекомендаций обоснована: использованием апробированных методов аналитических, лабораторных и шахтных исследований; корректностью постановки задачи, согласованностью и удовлетворительной сходимостью результатов аналитических и экспериментальных исследований (расхождение 10-17%); положительными результатами промышленной проверки и внедрения разработанного способа усиления крепи.

Научное значение работы заключается в раскрытии особенностей управления грузонесущей способностью арочной крепи подготовительных выработок в условиях неравномерного ее нагружения, критериальной оценке ее работоспособности, разработке математической модели определения параметров усиления наиболее нагруженного участка конструкции и экспериментальном изучении влияния пассивного отпора пород на эффективность усиления и повышения равнопрочности крепи.

Практическое значение работы состоит в следующем:

обоснован способ повышения равнопрочности арочной крепи и разработаны параметры ее усиления: величина момента предварительного напряжения, размер элемента усиления и угол его рационального размещения относительно оси симметрии арки;

разработан способ и прибор для определения изгибающих моментов на базовом участке крепи;

составлена прогностическая таблица эксплуатационного состояния арочной крепи.

Реализация результатов исследований. Разработанная конструкция усиленной крепи внедрена при крепении полевого откаточного штрека гор. 717 м ш.м. 50-летия СССР п.о. "Краснодонецуголь" и рекомендована к применению на других шахтах объединения. Технико-экономическая эффективность внедрения состояла в экономии 27 т металлопроката на каждые 100 м выработки.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях

в ДМИ (г. Алчевск, 1989-1994 гг.), на техсоветах в институте "Гипрошахт" (г. Харьков, 1990, 1992 г.); в трестах "Краснодонуглестрой" (г. Краснодон, 1990, 1992 г.), "Дуганскуглестрой" (г. Перевальск, 1992 г.). Конструкция усиления арочной крепи отмечена II премией Комитета по делам молодежи Луганской областной администрации за лучшие разработки в области науки и техники (г. Луганск, 1994 г.).

Публикации. Основные положения и результаты исследований отражены в II печатных работах, из них 5 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 115 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок, 10 таблиц, библиографию из 97 наименований, 7 приложений на 27 страницах.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ отечественного и зарубежного опыта крепления подготовительных выработок стальными крепями показал, что одной из главных причин неудовлетворительной работы крепи является значительная неравномерность и асимметрия распределения горного давления по контуру крепи и вдоль выработки. Истощение грузонесущей способности крепи происходит лишь на отдельном участке конструкции, тогда как остальные участки крепи остаются недогруженными.

Работы по исследованию и совершенствованию стальных рамных крепей были проведены М.Н. Гелескулом, В.Б. Дружко, Л.М. Ерофеевым, Ю.З. Заславским, Ф.С. Зигелем, В.Н. Каретниковым, З.Б. Клейменовым, Б.С. Киселевым, И.Г. Косковым, К.З. Кошелевым, Г.Г. Литвинским, А.П. Максимовым, А.Д. Селезнев; В.В. Смирняковым, Б.М. Усаченко, И.Д. Черняком, П.К.В. Стефаном, В. Согалла, О. Якоби и другими учеными.

Эти работы можно условно разбить на два направления:

а) обеспечение оптимального режима взаимодействия крепи с массивом горных пород; б) управление усилиями в конструкции крепи. Практика управления горным давлением сочетает первую группу факторов, формирующих нагрузку на крепь, со второй, обеспечивающей соответствие крепи проявлениям горного давления. Перспективным, с точки зрения повышения грузонесущей способности крепи, являются способы управления усилиями в конструкции в соответствии с проявлениями горного давления, а в рамках этого направления - создание

предварительного напряжения крепи. Однако известные конструкции преднапряжения элементов крепи обладали недостаточной эффективностью усиления, а их изготовление и монтаж были сложными и малотехнологичными. Вопросы влияния усиления и преднапряжения на грузонесущую способность крепи в условиях ее взаимодействия с массивом горных пород были исследованы недостаточно.

В этой связи задачами диссертационной работы являются:

- исследование работоспособности стальной арочной крепи в шахтных условиях;
- аналитические и лабораторные исследования параметров усиления и предварительного напряжения крепи;
- шахтные испытания и оценка экономической эффективности усиленной крепи.

Шахтные исследования стальной арочной крепи проводились с целью изучения особенностей нагружения крепи; оценки ее эксплуатационного состояния; разработки прогностической таблицы для определения целесообразности усиления крепи. При этом анализировались проектно-техническая документация по проведению выработки, сведения об наличии вывалов, обрушений, обводненности, число ремонтов и перекреплений. На обследуемых участках выработок измеряли следующие параметры: наличие и размеры пустот за крепью, число поломанных затяжек в кровле и боках выработки, смещения в узлах податливости, вдавливание стоек в почву выработки, соблюдение зазоров для транспорта, прогибы и деформации элементов крепи. Новым в методике обследования было использование комплексных критериев работоспособности крепи (табл. 1).

Таблица 1  
Критерии работоспособности стальной  
арочной податливой крепи

Критерии работоспособности	Состояние крепи		
	недогружена	норма	деформирована
1. Соблюдение любого из зазоров в выработке, м	100	100	менее 100
2. Смещения элементов в узлах податливости, мм	менее 50	50-300	более 300
3. Поломка затяжек, %	менее 5	5-15	более 15
4. Выпалаживание верхняка на базе I к, %	0	менее 20	более 20
5. Вдавливание стоек в почву, мм	менее 100	100-200	более 200

Состояние работоспособности рамы крепи принимали по худшему измеренному значению любого из критериев табл. I. Полезность введения критериальной оценки работоспособности крепи состоит в возможности принятия объективных решений о целесообразности ремонта, перекрепления и изменения паспорта крепления с целью усиления (облегчения) конструкции.

Важным критерием работоспособности является выполаживание верхняка, характеризующий действующие усилия в крепи. Возникла задача измерения прогибов, так как существующие прогибомеры малоприменимы из-за низкой точности. Разработан способ для измерения усилий в стальной арочной крепи, заключающийся в определении изменения радиуса кривизны ее элемента и расчета на этой основе изгибающих моментов действующих на базовом участке крепи. Изгибающий момент определяли по формуле:

$$M = EJ \left( \frac{2h}{\sqrt{h^2 + (a+b)^2} \sqrt{h^2 + (a-b)^2}} - R_0^{-1} \right) \quad (I)$$

где  $EJ$  - изгибная жесткость элемента крепи;  
 $h$  - калиброванная высота измерительного стержня прогибомера;  
 $a$  - половина расстояния между кромками опор;  
 $b$  - смещение стержня относительно центра основания;  
 $R_0$  - начальный радиус кривизны элемента крепи.

Точность определения усилий нового способа в 6-10 раз выше, чем в устройствах, основанных на прямом измерении стрелы прогиба. Разработанный прогибомер был использован при шахтных обследованиях крепи.

На основании принятых критериев работоспособности и данных обследований, была разработана по методике проф. Трумкина Р.А. прогностическая таблица состояния стальной арочной крепи (табл. 2).

Прогнозировались надежная работа (гипотеза  $\Gamma_1$ ) и отказы крепи (гипотеза  $\Gamma_2$ ). Отношение вероятностей показывало во сколько раз вероятность гипотезы  $\Gamma_1$  правдоподобнее вероятности реализации гипотезы  $\Gamma_2$ . Чем больше положительное значение прогностического коэффициента, тем более правдоподобна гипотеза  $\Gamma_1$ . Применению прогностической таблицы должен предшествовать выбор распознающих порогов. При этом ошибка первого рода  $\alpha$  возникает, когда вместо гипотезы  $\Gamma_1$  (безотказная работа крепи) принимают гипотезу  $\Gamma_2$  (отказ). Ошибка второго рода противоположна первой. Новым в данном подходе было то, что соотношение ошибок I и II ро-

Таблица 2

Прогностическая таблица состояния  
стальной арочной крепи

№ п/п	Фактор ( $i$ )	Диапазон фактора ( $j$ )	Отношение вероятностей ( $P_{i,j}$ )	Прогностический коэффициент ( $P_k$ )	И форма фактора ( $J_i$ )
1.	Глубина заложения выработки $H$ , м	400	1,5	+18	5,47
		400-600	1,05	+2	
		600	0,58	-24	
2.	Предел прочности пород на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	50	0,67	-17	4,73
		50-70	1,03	+1	
		70	1;50		
3.	Влияние лавы	нет	1,57	+20	29
		есть	0,21	-68	
4.	Расстояние между рамами крепи $l$ , м	1	0,68	-17	7,08
		0,7	1,03	+1	
		0,5	1,94	+29	
5.	Площадь сечения выработки $S_{св}$ , м <sup>2</sup>	11,2	1,12	+5	0,4
		11,2-13,8	1,03	+1	
		13,8	0,89	-5	
6.	Критерий устойчивости Ю.З.Заславского	0,15	2,2	+34	10,9
		0,15-0,3	0,88	-6	
		0,3	0,57	-24	

да в распознающих порогах определялось из анализа экономических последствий их реализации в выработке. На основании определения стоимости ошибок  $\alpha$  и  $\beta$  принято соотношение  $\alpha = 2\beta$ . Наиболее информативным фактором оказалось влияние лабы ( $J_c = 29$ ), что обуславливает резкое снижение устойчивости выработки в зоне вредного влияния очистных работ.

Наименее информативным фактором является площадь сечения выработки ( $J_c = 0,4$ ). Это объясняется компенсацией снижения устойчивости выработки при повышении ее ширины за счет установки большего типоразмера спецпрофиля.

Прогностическая таблица позволила по известным входным горно-техническим факторам судить об ожидаемой устойчивости крепи и необходимости ее усиления.

По разработанной методике было обследовано 44 горных выработки 17 угольных шахт объединений "Дуганскуголь" и "Краснодон-уголь". Шахтные наблюдения показали:

1. По всей группе обследованных выработок деформированными оказалось 27% арок. Таким образом, надежность работы стальной арочной крепи не превышает 73%, что явно недостаточно.

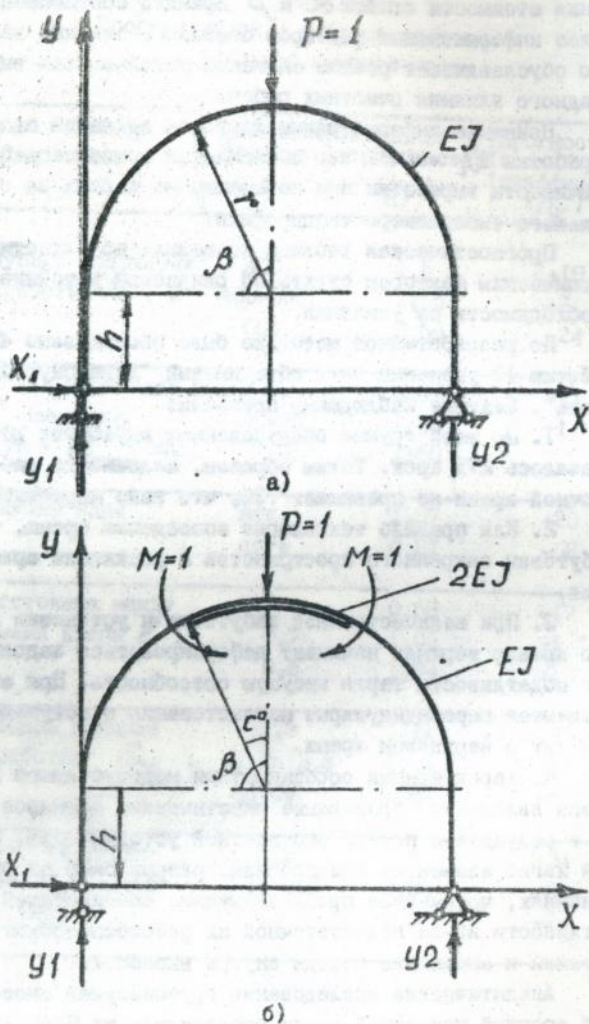
2. Как правило технология возведения крепи, требующая забутовки закрепного пространства и расклинки арки, не соблюдается.

3. При некачественной забутовке и установке арки под плоскую кровлю верхняя начинает деформироваться задолго до исчерпания податливости теряя несущую способность. При этом породы смещаются перпендикулярно напластованию и вступают в точечный контакт с верхняком крепи.

4. Характерными особенностями недопустимого деформирования крепи являются: образование пластических шарниров на спецпрофиле в результате потери его местной устойчивости, пространственный изгиб элементов спецпрофиля, разрыв скоб на податливых соединениях, чрезмерное проскальзывание спецпрофилей в узлах податливости из-за недостаточной их работоспособности, поломка затяжки и высыпание породы внутрь выработки.

Аналитические исследования грузонасущей способности стальной арочной усиленной крепи проводились на ПЭЭМ ГДМУС. Исходя из шахтных наблюдений была выбрана расчетная схема, в которой нагрузка представлена в виде сосредоточенной силы в центре пролета (рис. 1). Это отражает один из наиболее неблагоприятных случаев загрузки крепи, что идет в запас прочности по сравнению с иными схемами загрузки. Изгибная жесткость на участке

Основная система для расчета сравняемых вариантов рамной крепи



а) обычная крепь; б) усиленная преднапряженная крепь.

Рис. I

усиления в 2 раза превышала жесткость крепи (т.е. совместная работа верхняка и элемента усиления происходит без передачи на контакте касательных напряжений). Определялись действующие усилия и перемещения для обычной усиленной и преднапряженной крепи (рис. к). Оптимальный преднапрягающий момент выбирали из равенства напряжений в центре и на концах усиленного участка. Это обеспечивало равнопрочность крепи в наиболее напряженных сечениях. Получена формула для определения оптимального момента преднапряжения:

$$M_{\text{пн}} = \frac{2M_{\text{рк}} - M_{\text{р}(90^\circ)}}{2M_{\text{м}(90^\circ)} - 2M_{\text{мк}} + 1} \quad (2)$$

где  $M_{\text{р}(90^\circ)}$ ,  $M_{\text{рк}}$  — соответственно изгибающие моменты от силы  $P=I$  в центре и на концах элемента усиления;

$M_{\text{м}(90^\circ)}$ ,  $M_{\text{мк}}$  — изгибающие моменты от преднапрягающего момента  $M=I$  в центре и на концах элемента усиления.

Аналитические исследования показали, что при отсутствии забутовки элемент усиления с центральным углом  $40-60^\circ$  и преднапрягающим моментом  $0,02-0,1$  позволяет увеличить несущую способность крепи в  $1,5-1,6$  раза при увеличении массы крепи в  $1,2-1,25$  раза.

Однако расчеты не могли учесть влияние забутовки, создающей пассивный отпор пород. Для его учета с помощью теории подобия и размерностей, по методу Кирпичева-Барба-Кика были определены критерии подобия и разработан стенд для испытаний модели крепи (рис. 3).

В качестве исходных были приняты геометрический критерий подобия

$$\alpha_L = L_H / L_M = 20$$

и критерий подобия модуля упругости

$$\alpha_E = E_H / E_M = 1$$

поскольку в качестве материала модели была принята стальная проволока с тем же модулем упругости, что и у спецпрофиля (Ст.5). Исходные критерии позволили определить остальные критерии подобия и параметры модели:

$$\alpha_\sigma = \sigma_H / \sigma_M = \alpha_E = 1$$

$$\alpha_p = P_H / P_M = \alpha_\sigma \cdot \alpha_L^2 = 400$$

$$\alpha_Q = Q_H / Q_M = \alpha_p / \alpha_L = 20$$

$$\alpha_A = \alpha_L \cdot \alpha_L = 400$$

# Относительные напряжения в стальной рамной арокной крепи

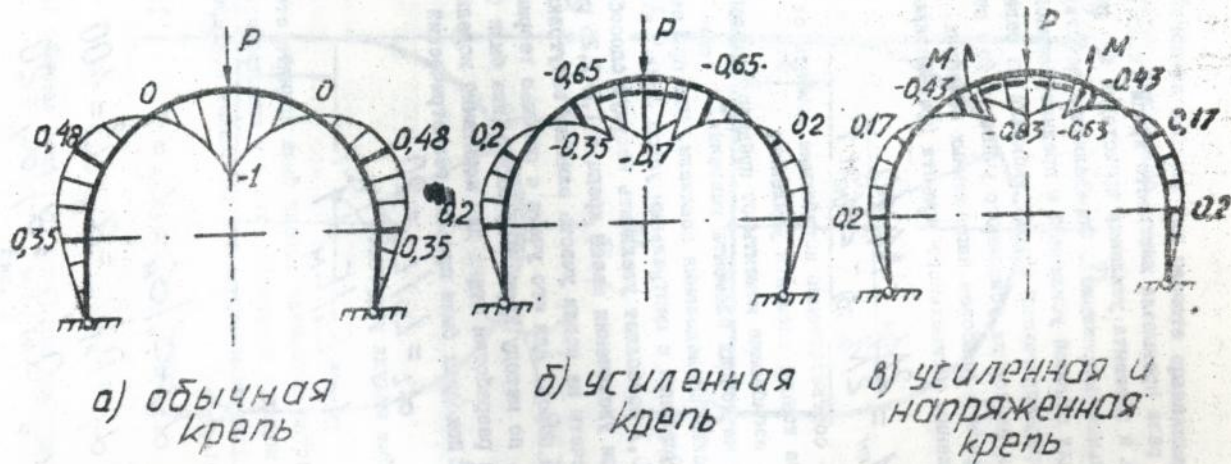
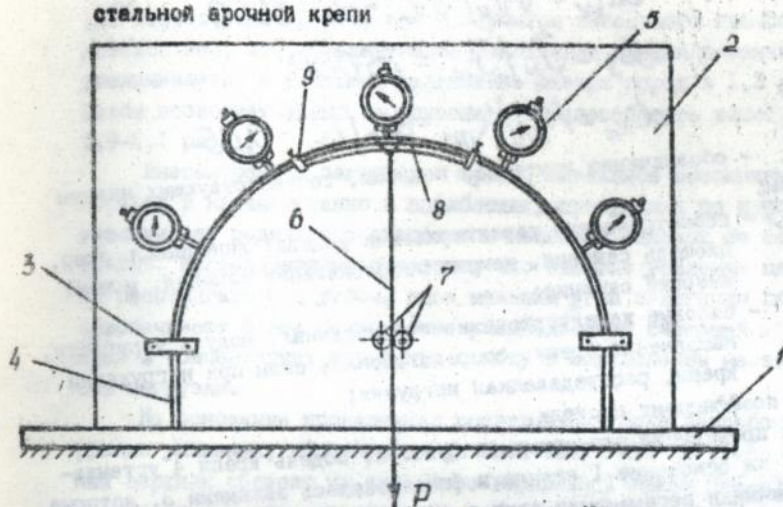


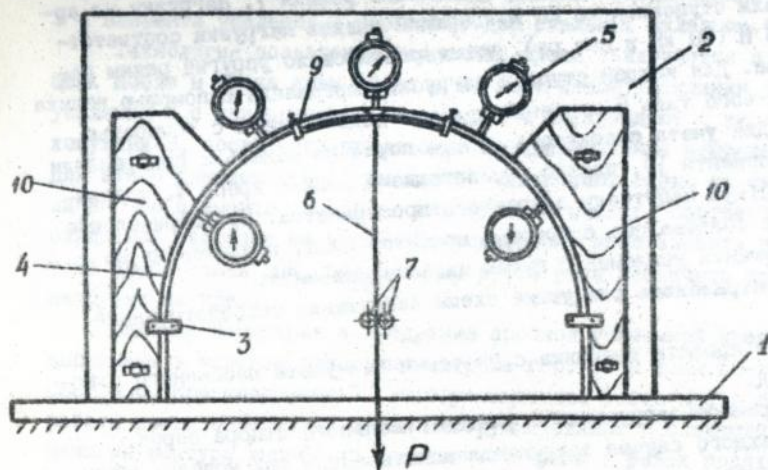
Рис. 2

Схема стенда для моделирования работы стальной арочной крепи

II



а)



а) без отпора пород,

б) с учетом пассивного отпора пород

Рис. 3

$$\alpha_{WV} = W_H / W_M = \alpha_L^3 = 8000$$

12

$$\alpha_J = J_H / J_M = 16000$$

$$\alpha_{K_n} = K_{пн} / K_{пм} = \alpha_p / \alpha_L^3 = 0,05$$

где  $\alpha$  — обозначение критериев подобия, соответствующих нижним индексам;

$L, A, W, J$  — геометрические характеристики модели: линейный размер, площадь сечения, момент сопротивления сечения, момент инерции сечения;

$E, B, P, Q$  — силовые характеристики моделирования: модуль упругости, напряжения крепи, сосредоточенные силы при нагружении крепи, распределенная нагрузка;

$K_n$  — коэффициент пастели.

При проведении эксперимента (рис. 3) модель крепи 4 устанавливалась на основание I стенда и фиксировалась зажимами 3, которые, не ограничивая перемещения арки в ее плоскости, выполняли роль межрамной стяжки. Поскольку взаимозаменяемый спецпрофиль имеет равные моменты сопротивления по вертикальной и горизонтальной осям, целесообразно моделировать его сечение круглой проволокой. Загружение производили через гибкую связь (тросик) 6, прикрепленную к вершине арки и пропущенную через направляющие ролики 7. Нагрузку на арку повышали ступенями по 20 Н. Верхний предел нагрузки соответствовал 100 Н (40 кН в натуре), что гарантировало упругий режим работы крепи. Для каждой ступени нагрузки определяли с помощью индикаторов часового типа 5 смещения контура модели крепи с точностью 0,01 мм. Для учета пассивного отпора пород на панель 2 прикрепляли опорные элементы 10, плотно прилегающие к модели крепи 4, моделирующие жесткую забутовку закрепного пространства. Предварительное напряжение создавалось с помощью моментов силы, приложенных на концах элемента усиления 8 путем их заневольвания.

Рассматривались следующие схемы нагружения сосредоточенной силой:

1. В центре пролета верхняка с учетом и без учета пассивного отпора пород.
2. Внецентренное нагружение с учетом пассивного отпора пород.

Для каждого случая нагружения испытывались три модели: обычная, усиленная и усиленная преднапряженная. Сравнение смещений крепи, полученных из расчета и моделирования, показало, их высокую сходимость (отклонение 10–17%), что позволило использовать модель

для исследования работы крепи с учетом пассивного отпора пород. Установлено, что эффективность усиления и преднапряжения крепи увеличивается в условиях пассивного отпора пород в 1,3 раза и в целом позволяет повысить грузонесущую способность конструкции в 1,9-2,1 раза.

Внецентренное нагружение крепи, вызванное смещениями пород по нормали к напластованию в выработках, пройденных по простиранию, увеличивает радиальное смещение в наиболее опасных ее сечениях на 15-20%. Исследованиями показано, что элемент усиления целесообразно располагать под углом, вдвое меньшим угла залегания пород, что обеспечивает более равномерное распределение смещений по периметру арки и компенсирует возможную ошибку в определении места воздействия нагрузки.

На основании проведенных исследований была разработана конструкция усиления, выполненная на базе крепи КМП-А3 (рис. 4). Усиленный верхняк состоит из серийного верхняка I крепи КМП-А3 и элемента усиления 2, представляющего собой отрезок спецпрофиля того же радиуса кривизны, что и верхняк. Размер (центральный угол) элемента усиления определяется из условия обеспечения наибольшей эффективности усиления с учетом весового и силового критериев и составляет 40-60°. Элемент усиления 2 сочленен с верхняком I крепи при помощи соединительных скоб 3. Между днищами спецпрофилей верхняка I и элемента усиления 2 размещают два стальных вкладыша 4.

Технология возведения усиленной крепи заключается в следующем. После монтажа арки крепи и ее тщательной расклинки элемент усиления 2 с приваренными вкладышами 4 прикрепляют к верхняку I хомузами 3, после чего производят предварительное напряжение крепи. Для этого динамометрическим ключом затягивают гайки на скобах усиленного элемента, создавая напрягающий момент, соответствующий ожидаемой нагрузке на крепь. Целесообразно использовать при монтаже крепи замки ЗСК, позволяющие в 1,5 раза увеличить предельные нагрузки на крепь.

Шахтные испытания и внедрение арочной усиленной крепи были выполнены в полевом откаточном штреке гор. 717 м ш. им. 50-летия СССР п.о. "Краснодонуголь". Эксплуатационное состояние и стабильность работы крепи определяли путем инструментальных наблюдений за смещениями контура выработки и элементов крепи в узлах податливости. Для этого на опытном участке длиной 135 м (шаг усиленной крепи составлял 1 м) и контрольном участке (шаг обычной крепи - 0,5 м) вы-

## Элемент усиления арочной крепи

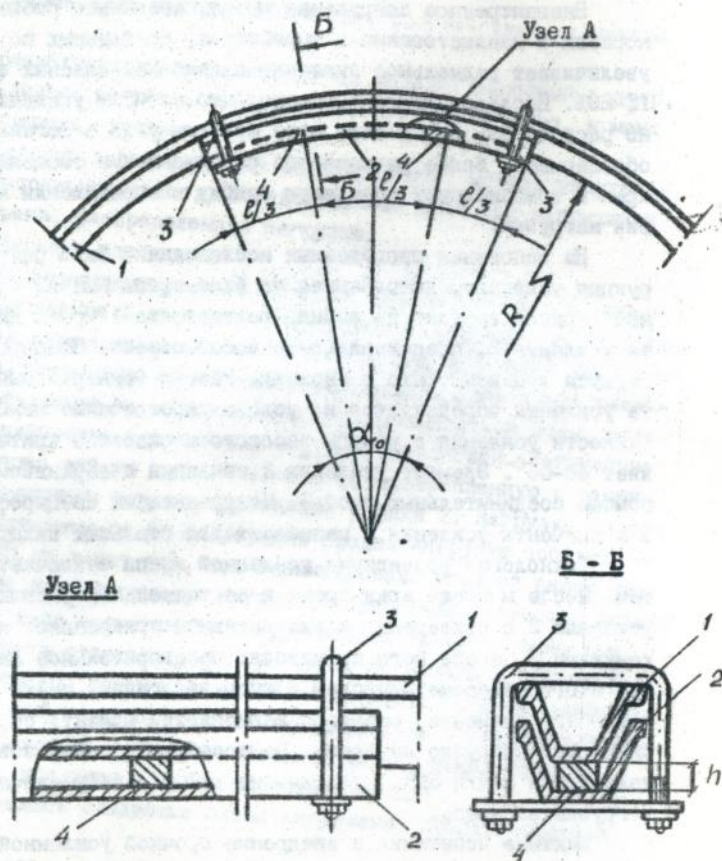


Рис. 4

работки были установлены по пять контурных станций. Причем на близлежащих к станциям арках фиксировался нахлест элементов крепи в податливых соединениях. Наблюдения проводились в течение 12 месяцев.

Испытания показали, что состояние выработки на опытном участке, где плотность крепи уменьшена в 2 раза, было вполне удовлетворительным и эквивалентным контрольному участку. Внедрение дало фактическую экономию 27 тонн металлопроката на каждые 100 м. полевого штрека.

Эффективность разработанной конструкции усиления в зависимости от шага крепи представлена в табл. 3 (трудоемкость принята пропорциональной массе устанавливаемой крепи).

Таблица 3  
Эффективность усиления арочной крепи

Расстояние между рамами, м		Эффективность (в % к КМП-А3)		
Обычная крепь (КМП-А3)	Усиленная крепь	Увеличение грузонесущей способности	Экономия металлопроката	Снижение трудоемкости возведения
0,33	0,7	0	43	43
0,5	1	0	40	40
0,7	1	40	16	16
0,7	1,2	16	30	30
0,8	1	60	4	4
0,8	1,2	33	20	20
без изменения		100	-20	-20

#### Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой дано новое решение актуальной научной задачи, заключающейся в раскрытии особенностей управления грузонесущей способностью арочной крепи подготовительных выработок при неравномерном ее загрузении и разработке математической модели определения параметров усиления наиболее загруженного участка крепи.

Основные выводы, научные положения и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Предложена комплексная методика обследования состояния стальной арочной крепи подготовительных выработок, основанная на

критической оценке ее работоспособности. В качестве критериев работоспособности приняты: солюдение любого из зазоров в выработке, смещение элементов в узлах податливости; процент поломки затяжек; вдавливание стоек в почву, выполаживание верхняка на базе  $1\text{ м}$ . Определены доверительные границы критериев в зависимости от состояния крепи, что позволяет принимать обоснованные решения о целесообразности ремонта или усиления конструкции.

2. Разработан на уровне изобретения способ измерения усилий в стальной арочной крепи, заключающийся в определении изменения радиуса кривизны ее элемента и расчета на этой основе изгибающих моментов, действующих на базовом участке крепи. Точность определения усилий нового способа в 5-10 раз выше способов, основанных на прямом измерении стрелы прогиба. Разработанный прогибомер применен при шахтных обследованиях крепи.

3. Составлена и обоснована прогностическая таблица эксплуатационного состояния стальной арочной крепи, позволяющая на основе значений известных входных горно-геологических факторов судить об ожидаемой работоспособности крепи и принимать решения о необходимости усиления конструкции. Соотношение ошибок I и II рода в распознающих порогах определялось из анализа экономических последствий их реализации в выработке.

4. Шахтные натурные наблюдения за состоянием стальной арочной крепи в 44 подготовительных выработках показали, что в среднем надежность ее работы не превышает 73%, а 27% арок находятся в нерабочем состоянии и нуждаются в усилении.

5. Разработана и исследована конструкция усиления и преднапряжения свальной арочной крепи, основанная на обеспечении равнопрочности ее элементов путем целенаправленного изменения напряженного состояния жесткости наиболее нагруженного участка крепи.

6. Аналитические исследования работы усиленной крепи при отсутствии забутовки показали возможность повышения ее грузонесущей способности в 1,5-1,8 раза при увеличении массы крепи в 1,2-1,25 раза, причем за счет усиления реализуется около 80% усиливающего эффекта, а за счет преднапрягающего момента - до 20%.

7. Установлены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать оптимальную величину преднапрягающего момента и размер элемента усиления. В качестве критерия оптимальности принята равнопрочность крепи в наиболее напряженных ее сечениях, что обеспечивалось равенством суммарных напряжений (от внешней нагрузки и преднапрягающего момента) в центре и на концах усиленного участка.

8. Экспериментальные исследования грузонесущей способности и деформируемости усиленной крепи на модели показали, что при внецентренном ее загрузении элемент усиления следует сместить относительно оси симметрии арки на угол, вдвое меньший угла залегания пород, что обеспечивает более равномерное распределение смещений по периметру арки и устраняет негативные последствия от возможного изменения места приложения внешней нагрузки.

9. Моделированием на стенде с воспроизведением взаимодействия крепи с массивом пород установлено, что пассивный отпор со стороны забутовки закрепного пространства повышает эффективность усиления и преднапряжения крепи в 1,3 раза и в целом позволяет увеличить грузонесущую способность конструкции в 1,9-2,1 раза.

10. Результаты диссертационной работы внедрены при креплении полевого откаточного штрака гор.717 м ш.им.50-летия СССР п.о. "Краснодонец" и рекомендованы для внедрения на других шахтах объединения. Техничко-экономическая эффективность внедрения состояла в экономии 27 тонн металлопроката на каждые 100 м выработки.

Основные положения диссертационной работы изложены в статьях и защищены авторскими свидетельствами:

1. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И. Прогноз устойчивости стальной арочной крепи. - Уголь Украины, 1993, № 6. - С.33-36.
2. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И. Исследование работы стальной рамной крепи на модели. - Известия вузов: Горный журнал, 1992, № 7. - С.35-40.
3. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И. Моделирование работы стальной рамной крепи горных выработок/ в сб. Новые технологии и оборудование горных работ. - Киев, 1993. - С.27-30.
4. Литвинский Г.Г., Волошин В.В., Гайко Г.И., Кулдыркаев В.И. Усиленная арочная крепь. - Луганск: ЦНИЭМ, 1992.
5. Гайко Г.И. Шахтные исследования стальной арочной крепи в подготовительных выработках/ Сборник трудов ДГМИ. - Киев: в печати.
6. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И. Прогнбимер шахтной рамной крепи. - Луганск: ЦНИЭМ, 1992.
7. А.с. 1723321 СССР, МКИ Е 21 Д 11/14. Прогнбимер для измерения усилий в шахтной крепи/ Г.Г.Литвинский, Г.И.Гайко, И.М.Лурма, В.И.Кулдыркаев. - Спубл. 30.03.92, Бюл. № 12.
8. Положительное решение по заявке № 5041392/03, МКИ Е 21 Д 11/14. Способ поддержания горных выработок/ Г.Г.Литвинский, Г.И.Гайко, В.И.Кулдыркаев, С.Д.Дурбало - от 09.01.92.

ЛНБ ім. В. Стефанива

АН України

9. Положительное решение по заявке № 4941447/03, МКИ Е 21 Д II/15.  
Шахтная затяжка для рамной крепи/ Г.Г.Литвинский, В.Б.Волошин,  
Г.И.Гайко, В.И.Куддыркаев, А.Н.Бушмин.- От 27.03.92.
10. Положительное решение по заявке № 4838633/03, МКИ Е 21 Д II/14.  
Стенд для испытания рамной крепи/ Г.Г.Литвинский, В.Б.Волошин,  
Г.И.Гайко, В.И.Куддыркаев.- От 11.09.91.
11. Положительное решение по заявке № 4939278/28, МКИ Е 21 Д II/14.  
Стенд для испытания рамной крепи/ Г.Г.Литвинский, В.Б.Волошин,  
Г.И.Гайко, В.И.Куддыркаев.- От 07.07.92.

*Гайко*

## АННОТАЦИЯ

Гайко Геннадий Иванович. Обоснование способа и параметров усиления арочной крепи подготовительных выработок.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 - "Подземная разработка месторождений полезных ископаемых", Донецкий государственный технический университет, Донецк, 1995.

Защита диссертационная работа, в которой дано новое решение актуальной научно-технической задачи по оптимизации усиления арочной крепи с целью сокращения материалоемкости и стоимости крепления подготовительных выработок. Обоснован способ повышения равнопрочности крепи и определены параметры ее усиления. Экономическая эффективность внедрения составила 27 т металлопродукта на каждые 100 м выработки.

Ключові слова: підготовка виробки, гірська тиця, арочне кріплення, елемент підсилення, несуча спроможність.

**GENNADY I. GAIKO. The substantiation of way and parameters of strengthening arched support of development headings.**

Thesis of the dissertation for a scientist degree of candidate of technical sciences on specialities 05.15.02 - "The underground development of deposits of useful mineral". DonSTU, Donetsk, 1995.

The purpose of the dissertation was reduction of specific consumption of support materials and cost of the arched lining for development heading.

Author of dissertation gives the new decision of urgent technological task on optimization of strengthening arched support. The way of increase stability arched lining and the parameters her strengthening is justified. The economic efficiency of adoption scientific achievements in industry has made 27 t metal on each 100 m the development headings.



808.1E9A

456731

AB 31.898

**AB 31.898**