

**Г.Г. ЛИТВИНСКИЙ
Г.И. ГАЙКО
Н.В. МАЛЕЕВ
В.Б. ВОЛОШИН**

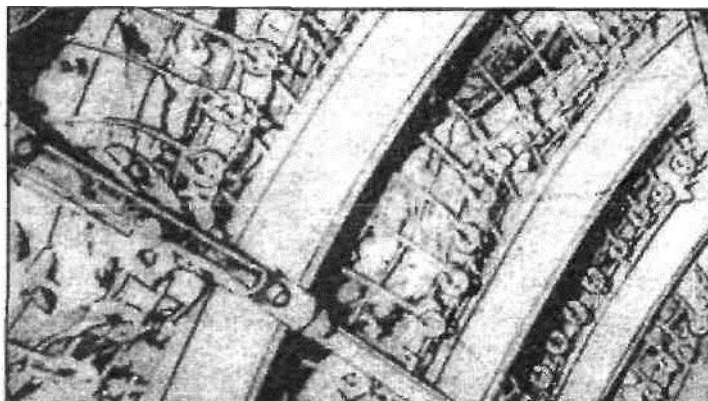
МЕЖРАМНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ ШАХТНОЙ КРЕПИ



**Алчевск
2000**

ГГ. Литвинский
ГМ. ГАЙКО
Н В. МАЛЕЕВ
В.Б. ВОЛОШИН

МЕЖРАМНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ ШАХТНОЙ КРЕПИ



Алчевск 2000

Министерство образования и науки Украины
Донбасский горно-металлургический институт

Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.В. Малеев, В.Б. Волошин

МЕЖРАМНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ
ШАХТНОЙ КРЕПИ

Рекомендовано
на заседании Ученого Совета
Протокол № 1 от 28.01.2000

Алчевск 2000

УДК 622.284.4

Литвинський ГГ., Гайко ГЛ., Малєєв МЛ., Волошин В.Б. Міжрамні огорожі шахтного кріплення. Монографія – Алчевськ: ДГМІ, 2000. - 110 с

ISBN 966-7560-20-1

У монографії розглянуто питання вдосконалення міжрамних огорож сталевого рамного кріплення на основі розвитку їх адаптивних властивостей. Надано відомості про ефективні області застосування різних типів зтяжок, приведені методики лабораторних та шахтних досліджень взаємодії міжрамної огорожі з масивом гірських порід, наведено розрахунки несучої спроможності зтяжок при різних схемах їх навантаження.

Для інженерно-технічних працівників гірничої галузі, проектних та науково-дослідних установ. Може бути корисна студентам та аспірантам гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів.

Табл. 15 Іл. 36 Бібліограф. 59

Рецензенти: доктор технічних наук, професор Зборщик М.П. (Донецький державний технічний університет); доктор технічних наук, професор Борзих А.Ф. (Донбаський гірничо-металургійний інститут).

В монографии рассмотрены вопросы совершенствования межрамных ограждений стальной рамной крепи на основе развития их адаптивных свойств. Изложены сведения об эффективных областях применения различных типов зтяжек, описаны методики лабораторных и шахтных наблюдений взаимодействия межрамных ограждений с массивом горных пород, приведены расчеты несущей способности зтяжек при разных схемах их нагружения.

Для инженерно-технических работников горной отрасли, проектных и научно-исследовательских учреждений. Может быть полезной студентам и аспирантам горных специальностей высших учебных заведений.

ISBN 966-7560-20-1

Г.Г. Литвинський,
Г.І.Гайко
© М.В.Малєєв
В.Б. Волошин, 2000

Предисловие

Крепление горных выработок является наиболее сложным и трудоемким процессом технологии подземной разработки угольных месторождений. Несмотря на широкое применение стальных рамных крепей из тяжелых спецпрофилей (более 80% возводимых выработок), ежегодные объемы перекреплений превышают 10% от всей протяженности поддерживаемых выработок, а на ремонтных работах занято около 15% общей численности подземных рабочих. В настоящее время от 30 до 50% горных выработок шахт Украины признаны опасными для передвижения людей. Неудовлетворительное состояние крепи является одной из главных причин высокого травматизма горнорабочих.

Надежность и безопасность горных выработок во многом предопределяются работоспособностью межрамных ограждений (затяжек). Несмотря на большое число их типов, в отечественной промышленности нашли широкое применение лишь деревянные и плоские железобетонные конструкции. Низкая работоспособность и массовые отказы затяжек требуют пересмотра практики их проектирования. Однако до настоящего времени механизм взаимодействия затяжек с массивом горных пород трактуется упрощенно, характер распределения нагрузки на межрамные ограждения недостаточно изучен, отсутствуют обоснованные рекомендации по их проектированию и определению области рационального применения в различных горнотехнических условиях.

Для решения этих задач в ДГМИ были проведены исследования межрамных ограждений шахтной крепи, результаты которых нашли отражение в данной книге. В ней систематизировано более 20 конструкций межрамных ограждений (гл. 1), дан анализ эксплуатационного состояния рамных крепей и затяжек (гл. 2), модифицирована методика и приведены результаты их функционально-стоимостного анализа (гл. 3), рассмотрен механизм взаимодействия рамной крепи с породным массивом (гл. 4), дан расчет несущей способности затяжек при различных схемах нагружения (гл. 5), описаны стендовые испытания железобетонных и стальных тонколистовых затяжек (гл. 6), обобщен опыт внедрения комбинированных межрамных ограждений в подготовительных выработках (гл. 7).

Книга может быть полезной для специалистов, чья деятельность связана с креплением горных выработок, и студентов горных вузов. Авторы с признательностью примут отклики, критические замечания и предложения от всех, кто возьмет на себя труд ознакомиться с книгой.

Адрес для контактов: каф. «Строительные геотехнологии», Донбасский государственный технический университет, пр. Ленина, 16, г. Алчевск Луганской обл., 94204, Украина (E-mail: ligag@ya.ru)

Глава 1.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ШАХТНОЙ КРЕПИ

Себестоимость угля, надежная и безопасная работа угольных шахт во многом определяются устойчивостью горных выработок. Важнейшим фактором ее обеспечения является шахтная крепь, причем крепление выработок является самым сложным и трудоемким процессом в технологии горнопроходческих работ. Наибольшее распространение в угольной промышленности стран СНГ, Германии, Великобритании, Чехии, Польши получила стальная рамная крепь [1-4], представляющая собой комбинацию отдельно стоящих рам и межрамного ограждения (затяжек).

Последние являются важным грузонесущим и распределительным элементом шахтных крепей. Их расход при проведении горных выработок весьма высок (до 500 куб. м на 1 км выработки), стоимость доходит до 30-40% от стоимости крепи, а на возведение затрачивается 25-30% затрат проходческого труда [5].

Разнообразие горно-геологических условий и поиск экономически эффективных решений привели к большому количеству типов (более 30) межрамных ограждений, большинство из которых не нашло промышленного использования. Их наиболее полная классификация (рис. 1.1.) подразделяет ограждения по функциям на несущие, изолирующие и комбинированного назначения [6]. В подготовительных выработках угольных шахт обычно используют несущие конструкции межрамных ограждений - затяжки, которые могут быть жесткими (железобетонные конструкции), полуэластичными (стальные, деревянные, полимерные затяжки) и эластичными (металлическая сетка, рулонная стеклоткань и др.).

Наибольшее распространение в подготовительных выработках шахт получила деревянная затяжка, представляющая собой доски или обапола хвойных пород толщиной 20-50 мм. Ею крепится около 70% общего объема выработок [7], что объясняется простотой изготовления, транспортирования и монтажа, а также относительно низкой стоимостью. Однако недостаточная несущая способность (разрушение затяжки наступает при нагрузке 10-15 кПа [8]) и малый срок службы (не более 0,5-3 года вследствие гниения древесины в шахтных средах) становятся причинами массовых отказов затяжек в виде хрупкого излома с запредельными деформациями, что приводит к обрушению пород между рамами крепи в выработку, травматизму подземных рабочих, аварийности на рудничном транспорте и другим негативным последствиям.

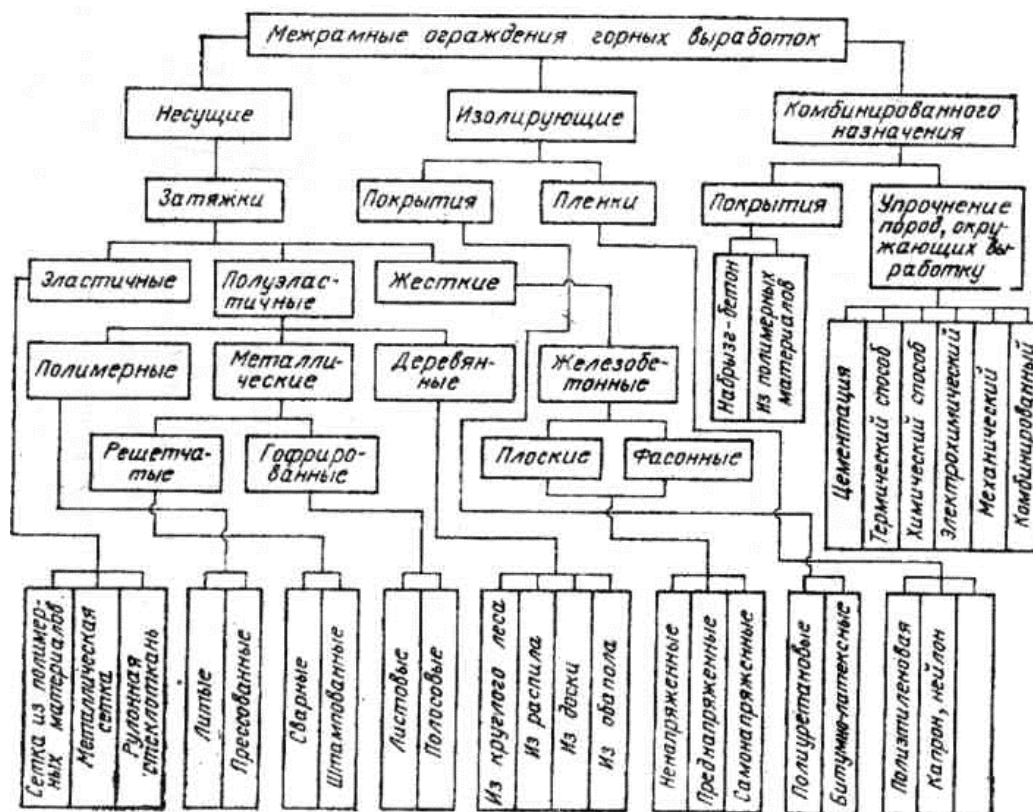


Рис. 1.1 Классификация межрамных ограждений шахтной крепи

Несколько реже, как правило, в основных и капитальных горных выработках применяется плоская железобетонная затяжка (рис. 1.2, а), представляющая собой плоские плиты прямоугольного сечения, изготавливаемые из бетона классов В15 и В25, армированные сварной сеткой из проволоки Ст.3 диаметром 3-8 мм [9]. В среднем объемы ее применения не превышают 20%, а на шахтах Центрального района Донбасса -10-12%. Плоская железобетонная затяжка имеет ряд недостатков: большую массу (до 24 кг), нефиксированное положение арматурного каркаса, отсутствие арматуры, воспринимающей усилия при перевозке и монтаже. До 30% этих затяжек разрушается еще в процессе транспортирования от завода-изготовителя до забоя, а трудоемкость их установки достигает 25-30% общих трудозатрат на крепление [10].

В целях совершенствования традиционной железобетонной затяжки НИИОМШС создал плоскую кессонную затяжку [5], отличительной особенностью которой является наличие кессона (рис. 1.2, б). За счет применения объемного арматурного каркаса и строго фиксированного положения его в изделии, кессонные затяжки имеют более высокую несущую способность при одновременном снижении расхода материала и массы изделия, а также улучшении качеств их транспортирования [11].

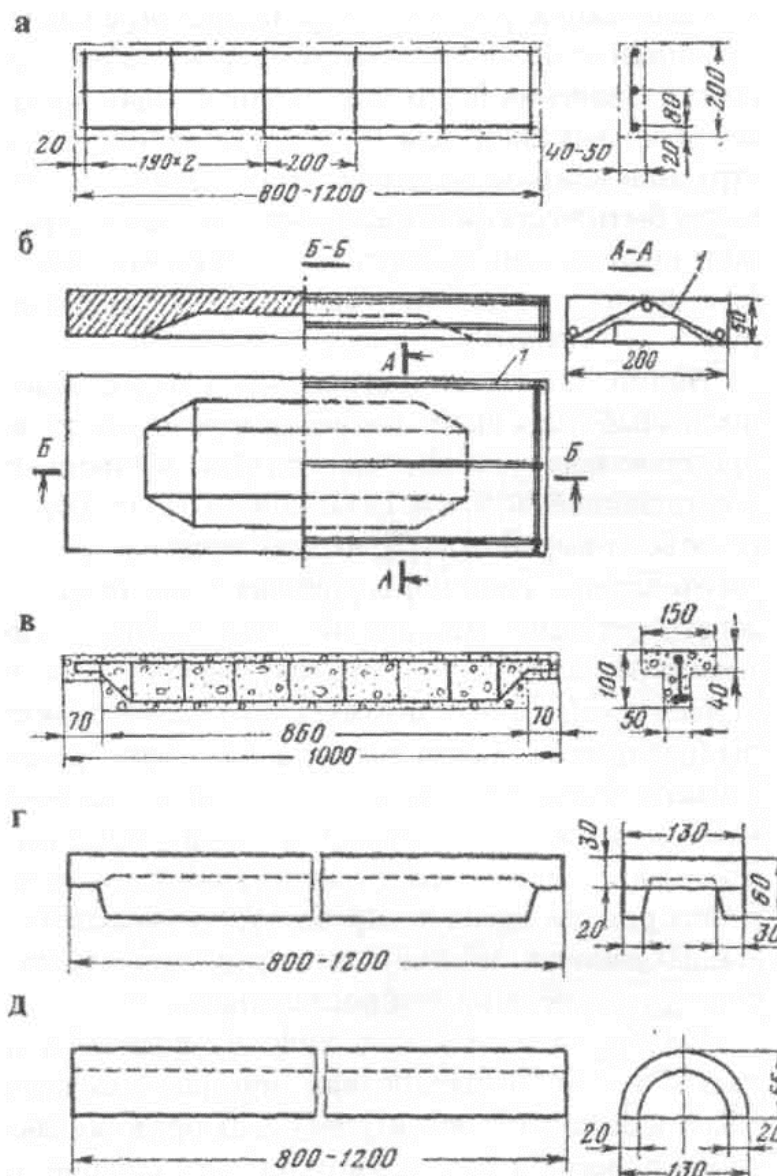


Рис. 1.2 Конструкции железобетонных затяжек: а - плоская; б - кессонная; в - тавровая; г, д - фасонные

В то же время следует отметить, что часть продольной арматуры оказалась в сжатой зоне бетона, а верхние кромки остались без арматуры и могут разрушаться при ударных нагрузках. Из-за усложнения изготовления конструкции она не нашла широкого промышленного применения. Сравнение технико-экономических показателей кессонной затяжки с плоской приведено в табл. 1.1.

Для увеличения прочности железобетонной затяжки ей можно придать тавровый профиль [12] с размещением рабочей арматуры в полке тавра (рис. 1.2, в). Конструктивная толщина затяжки (в стенке тавра) увеличивается в 2 раза, а ширина сокращается на 25%, что ведет к повышению удельного расхода материалов на 20%, но оправдано эффективной работой арматуры в растянутой зоне.

Таблица 1.1 Техничко-экономические характеристики железобетонных затяжек

Показатели	Затяжки	
	плоская	кессонная
Размеры, см	100x20x5	100x20x5
Расход бетона на 100 штук затяжек, м ³	1,0	0,84
Расход арматуры на 100 штук затяжек, кг	81,4	53,2
Масса 1-й затяжки, кг	24,0	19,6
Число затяжек, изготовленных из 1 м ³ бетона	100	120
Трудоемкость на 100 штук затяжек ч/час	5,12	5,10

Эта идея нашла воплощение и в других предложениях по изменению профиля поперечного сечения (корытные, сводчатые и пр.), которые остались на уровне теоретических разработок или применялись небольшими партиями (рис. 1.2, г, д).

В НГА Украины разработана железобетонная затяжка в виде плиты, одна из сторон которой плоская, а вторая фигурная, причем рабочая арматура размещена параллельно фигурной стороне затяжки, а монтажные поперечные стержни имеют длину на 15 мм превышающую ширину затяжки [13]. Последнее обеспечивает целостность межрамного ограждения при реализации податливости рамы и уменьшении ее периметра, благодаря сокращению зазоров между затяжками. Это позволяет жесткой ограждающей оболочке приспособиться к работе податливой крепи.

Несмотря на различное конструктивное исполнение железобетонных затяжек, их несущая способность определяется как работа балки на изгиб. Разрушение таких затяжек во многом обусловлено жестким режимом их взаимодействия с массивом горных пород. При этом формируется неблагоприятное (иногда сосредоточенное) распределение внешних нагрузок на однопролетную балку, что вызывает хрупкое разрушение бетона и излом затяжки.

С целью изменения характера деформирования железобетонных конструкций в ДГМИ была создана облегченная затяжка шахтной крепи, которая заняла промежуточную позицию между жесткими и полуэластичными межрамными ограждениями [14, 15]. Затяжка (рис. 1.3,а) выполнена из вогнутой плиты с плоскими опорами на концах, которые опираются на рамы крепи. В затяжке установлена арматурная сетка в которой рабочая продольная арматура усилена крюками на плоских опорах. Благодаря вогнутости затяжки внутри выработки забутовочный слой породы оказывается повышенной толщины (рис. 1.3, б) и поэтому меньшей жесткости, что снижает нагрузку в пролетной части затяжки. При дальнейшем возрастании нагрузки предусмотрен переход конструкции в предельное состояние, когда образуются трещины в материале затяжки и она работает в полуэластичном режиме, подобно вантовой конструкции. Межарматурное заполнение препятствует выпадению из

закрепного пространства мелких кусков породы, выполняя ограждающую функцию. В этой затяжке впервые использована идея запредельной работы конструкции при условии защемления ее концов на рамах. Однако, обеспечить такое защемление на опорах в данном случае весьма затруднительно, что вместе с усложнением конструкции делают ее применение достаточно проблематичным.

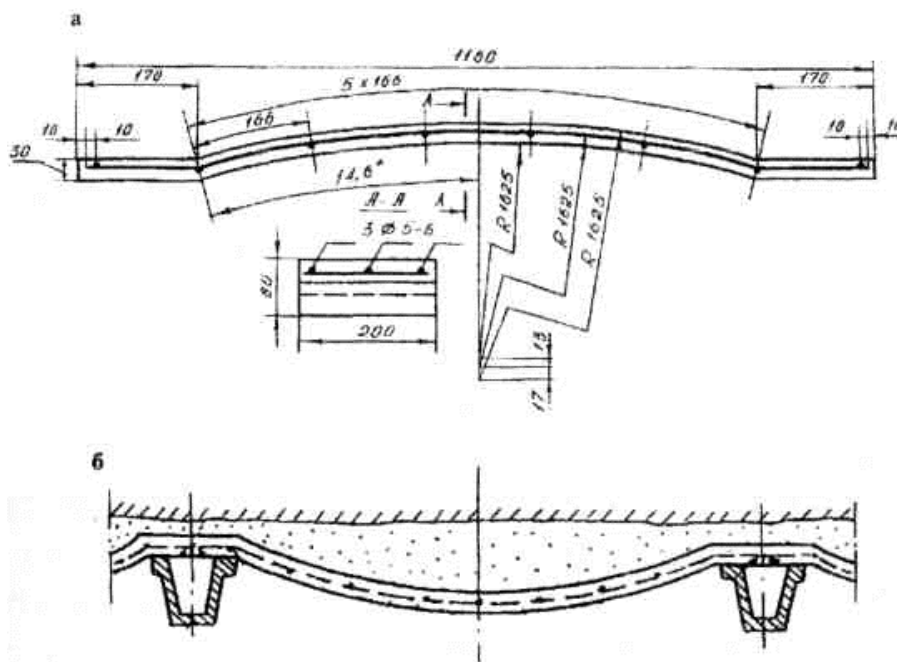


Рис. 1.3 Облегченная вогнутая затяжка ДГМИ

Развитием идеи перераспределения внешней нагрузки в процессе податливости затяжки является разработанная в ДГМИ шарнирно-податливая конструкция (рис. 1.4).

Затяжка выполнена в виде плоской прямоугольной тонкостенной плиты 1, уложенной своими концами 2 на рамы крепи 3. Затяжка армирована сварной решеткой и снабжена парами односторонних шарниров 4 в виде поперечных прямолинейных выемок, выполненных в поверхностном сжатом слое бетона по разным сторонам арматурных стержней и расположенных симметрично относительно центра пролета затяжки. При этом крайняя пара шарниров выполнена с внутренней стороны, тогда как остальные шарниры выполнены с внешней, обращенной к породе. На затяжке уложен слой забутовки из мелких кусков разрушенной породы.

Под действием внешней нагрузки происходит деформация затяжки в шарнирах 4 и плавное опускание пролетной центральной части благодаря постепенному проскальзыванию концов 2 на рамах крепи 3, что ведет к снижению нагрузки в пролетной части и ее концентрации на рамах крепи. При уменьшении угла наклона α до величины $\alpha \leq \arctg f$ (f – коэффициент трения бетона по металлу) исключается дальнейшее проскальзывание концов, что обеспечивает надежную фиксацию затяжки на рамах крепи. Основной несущей

конструкцией является продольная арматура, работающая подобно вантам на растяжение, а тонкий бетонный слой ограждает выработку от просыпания кусков породы между вантами. Это позволяет при снижении расхода бетона в 1,5 раза повысить несущую способность межрамного ограждения в 2-2,5 раза.

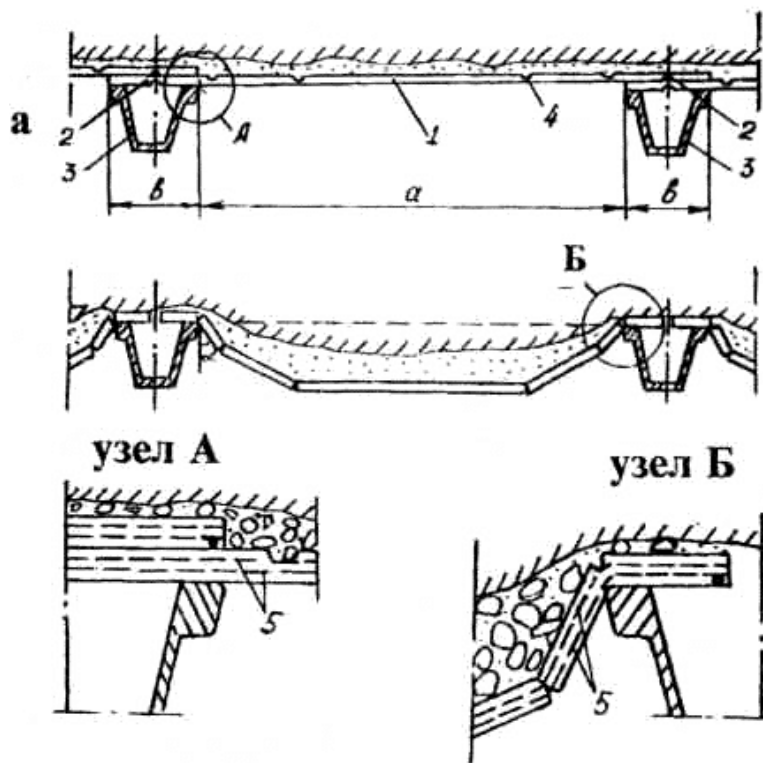


Рис. 1.4. Шарнирно-податливая затяжка ДГМИ: а - после установки; б - в процессе работы

Следует отметить предложения по применению в затяжках заменителей бетона (фосфогипс, шлакобетон и др.) [5, 7]. За счет использования местных материалов удастся несколько снизить стоимость затяжки, однако жесткий режим ее работы сохраняет все недостатки жестких конструкций, которые усугубляются нестабильностью свойств и малой прочностью новых материалов.

Недостаточная надежность и высокая материалоемкость железобетонных затяжек вызвали появление многочисленных конструкций стальных межрамных ограждений. Все их разнообразие можно подразделить на три типа: решетчатые, пластинчатые (листовые) и комбинированные.

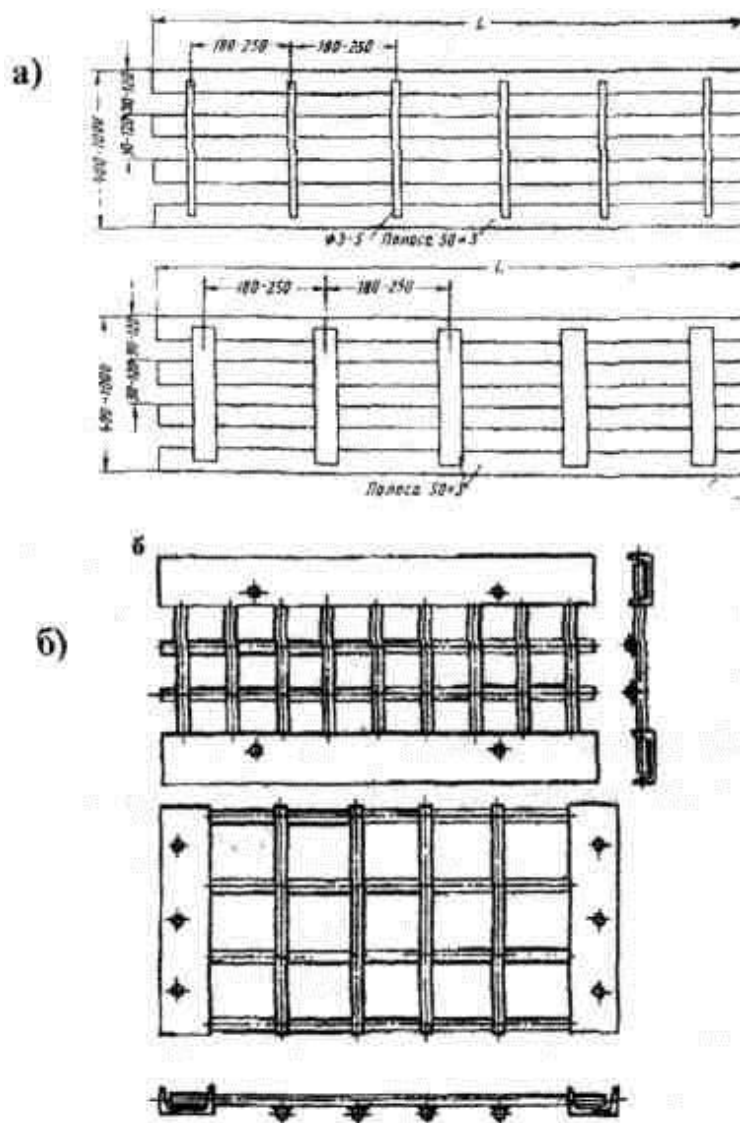


Рис. 1.5 Стальные решетчатые затяжки:
а - из полосовой стали; б - из жестких ограждающих решеток

Одними из первых появились сварные решетчатые затяжки из полосовой стали (рис. 1.5, а), которые работают в режиме, близком к жесткому. Их установка на крепь проста и не требует специальных мер по соединению соседних затяжек между собой. Затяжки не повреждаются при транспортировании и монтаже, имеют высокую несущую способность, а уменьшение площади ячеек между полосами затрудняет просыпь мелкой породы из закрепного пространства.

Для условий повышенного горного давления на шахтах и рудниках Кривбасса были предложены затяжки (рис. 1.5, б) из жестких ограждающих решеток скрепленных с рамами [16]. В этих решетках наряду с полосами металла использовалась арматурная решетка в центре затяжки и жесткое обрамление из швеллеров по ее краям. Несмотря на отмеченные достоинства затяжки из полосовой стали не получили широкого применения из-за большого расхода металла.

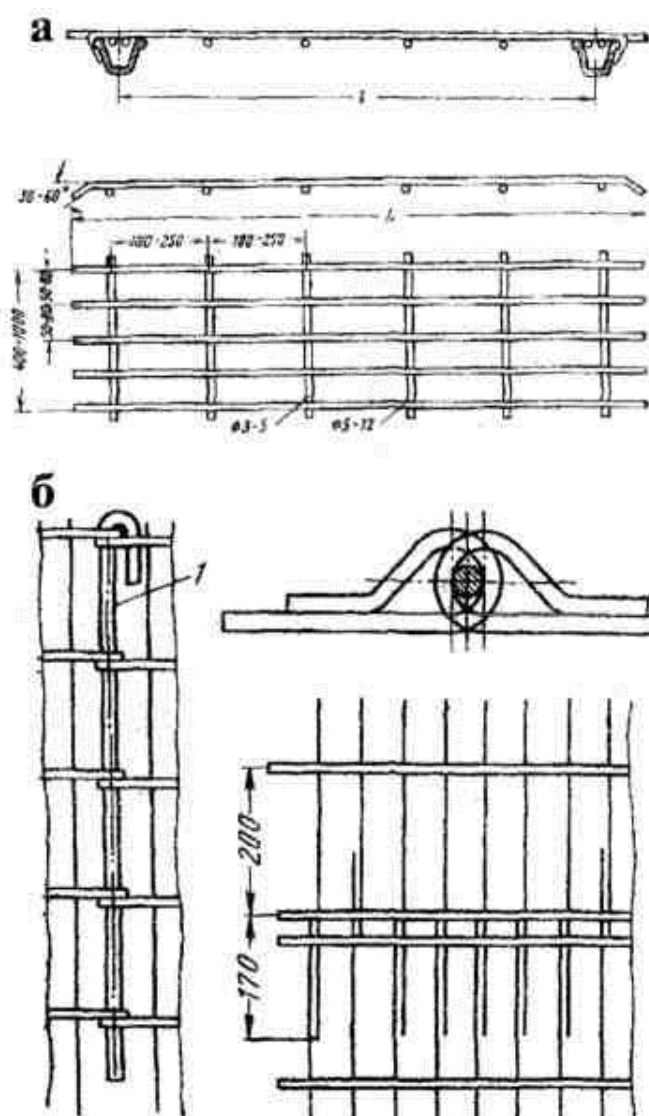


Рис. 1.6 Решетчатые затяжки из прутков

С целью снижения материалоемкости и стоимости, обычно решетчатые затяжки изготавливают из прутков (арматурной стали), изменяя размеры ячеек, длину и ширину затяжки. Последние представляют собой (рис. 1.6, а) сварную сетку из продольных прутков $\varnothing 5-12$ мм с загнутыми под углом $30-60^\circ$ концами и поперечных прутков $\varnothing 3-5$ мм. Размер ячеек между прутками варьирует в пределах $(50...80) \times (180...250)$.

Длина затяжки рассчитана на стандартный шаг крепи 0.5, 0.75 и 1 м [17]. В решетчатых затяжках весьма важную роль играет их соединение между собой или с рамами крепи, без чего их несущая способность ничтожно мала. Простейший вариант такого соединения предусматривает использование загнутых концов продольных прутков в качестве зацепов, которые охватывают фланцы спецпрофиля. Простота изготовления и монтажа конструкции, а также невысокая стоимость являются ее основными достоинствами. Однако ее несущая способность ограничена слабым зацеплением концов за спецпрофиль и недостаточна для восприятия давления со стороны пород, что приводит к их

обрушению в выработку при разгибе конца затяжки.

Для повышения надежности и несущей способности решетчатой затяжки в институте ЦНИИПодземмаш разработана конструкция из сварных продольных прутков $\varnothing 6$ мм, концы которых отогнуты и заварены в виде петель, и поперечных прутков диаметром 3 мм. Ширина затяжки 1 м, длина 1 и 1,5 м, размер ячейки сетки 60x200 мм (рис. 1.6, б). Соединение затяжек по длине выработки осуществляется с помощью соединительного стержня 1 $\varnothing 8$ мм, продеваемого в петли затяжки. В поперечном направлении затяжки соединяются внахлестку. Такое соединение соседних затяжек существенно увеличивает несущую способность и надежность работы межрамного ограждения. В то же время возникают значительные неудобства при монтаже затяжки, поскольку продевание соединительного стержня в петли при ширине затяжки 1 м затруднительно, особенно при укладке затяжки на арку, когда большая ширина затяжки приводит к необходимости ее изгиба по радиусу верхняка.

В выработках с продолжительным сроком службы рекомендуется устанавливать металлические затяжки с антикоррозионным покрытием (битумные и каменноугольные лаки, органосиликатные материалы [18]).

Большое распространение решетчатые затяжки получили в Германии, где они вытеснили из промышленного использования другие конструкции [19-22], Как правило, эти затяжки выполняют из прутков $\varnothing 8-10$ мм с достаточно мелким размером ячеек от 60x150 до 100x100 мм. Смежные затяжки по оси выработки соединяют между собой с помощью петель или крюков. Концы крюков отгибают трубчатым рычагом, после чего затяжки не могут произвольно рассоединиться и способны выдерживать повышенную нагрузку. По периметру выработки смежные затяжки соединяются между собой мягкой стальной проволокой диаметром 2 мм.

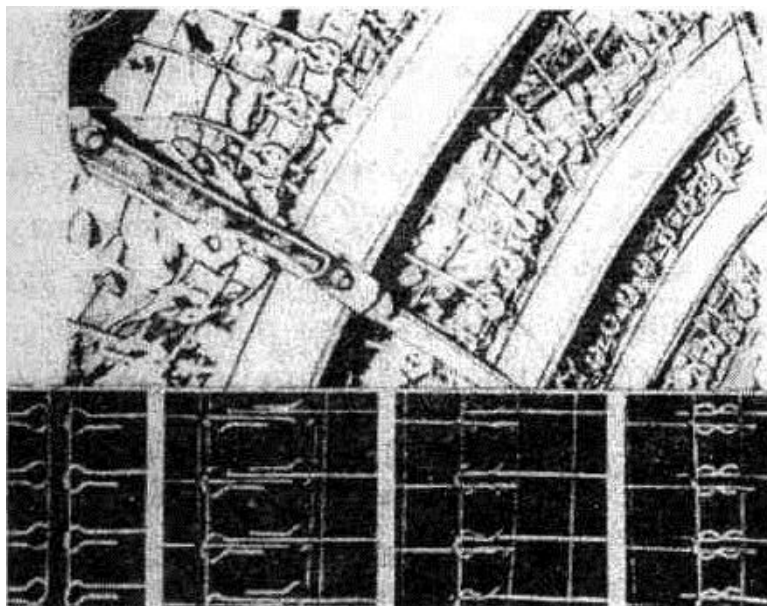


Рис. 1.7 Решетчатые затяжки фирмы «Зальциттер» (ФРГ)

Более совершенны затяжки фирмы «Зальцгиттер» [19]. Они отличаются конструкцией элементов соединения затяжек между собой (рис. 1.7). Концы продольных стержней толщиной 4-6 мм выполнены в виде отогнутых под углом 45° незамкнутых колец. При соединении колец смежных затяжек образуется узел, который при нагружении затягивается. За счет этого затяжка обладает некоторой податливостью и повышенной несущей способностью. Прочность узла соединения выше прочности стержней, его образующих. К недостаткам затяжки можно отнести сложность ее изготовления, высокие требования к качеству установки, невозможность ее демонтажа.

На угольных шахтах были попытки использовать в качестве межрамных ограждений рулонные сетки из проволоки 0 2 мм. На шахтах ФРГ такую сетку усиливают секциями из двух продольных и десяти поперечных стержней, формируя «секционные» затяжки [21]. Это позволяет избежать нежелательной вытяжки сетки под нагрузкой за счет повышения жесткости. Такая конструкция является, по сути, сочетанием решетчатой и сетчатой затяжек, обладает повышенной надежностью и позволяет избежать падения даже мелких кусков породы в выработку.

В целях повышения работоспособности предложена конструкция решетчатой затяжки волнистой формы (продольные прутки $\varnothing$ 10 мм, поперечные $\varnothing$ 6 мм) с укладкой внахлестку [22]. При этом возможно создание набрызга, при котором металлическая затяжка выполнит функцию арматурной решетки. После заполнения цементным раствором закрепного пространства обеспечивается жесткое сопротивление межрамного ограждения более 40 кПа, что приближается к несущей способности рамной крепи и создает равное сопротивление смещениям пород на контакте с рамами и между ними. Такой подход, характерный для каменноугольной промышленности ФРГ, значительно повышает надежность выработки за счет роста материалоемкости и стоимости крепи.

Для обеспечения устойчивости выработок в сложных горно-геологических условиях применяют листовые (пластинчатые) затяжки из стального листа толщиной 2-3 мм. Однако из-за недостаточно обоснованных конструктивных параметров (в частности трудности удержания нагруженной затяжки на фланцах спецпрофиля рамы) и высокой материалоемкости они не нашли широкого распространения.

С целью создания высокопрочной конструкции, работающей в податливом режиме в ДГМИ разработана затяжка стальная тонколистовая (ЗСТ) [23], выполненная в виде пространственного тонкостенного элемента в форме желоба с зацепами на концах (рис. 1.8).

Благодаря тому, что затяжка имеет форму тонкостенного ($t=2$ мм) желоба, боковые стенки 2 которого наклонены к днищу 1 с внешним развалом под углом, тангенс которого не превышает 0.15, а высота боковых стенок имеет размер, не превышающий половины ширины днища, достигают высокой прочности конструкции и надежной работы в запредельной стадии

деформирования, обеспечивают плавный прогиб ее в выработку (см. рис. 1.8, б), что содействует перераспределению нагрузки с пролетной части затяжки на рамы крепи и приводит в соответствие работоспособность затяжки и рамы.

Наклон боковых стенок выбран из условия равновесия суммарных равнодействующих граничных напряжений в стенках затяжки от продольного и поперечного моментов, что обеспечивает местную устойчивость стенок при нагружении.

То, что зацепы выполнены симметрично с обоих концов затяжки на глубину, не превышающую половину высоты стенки, позволяет надежно удерживать затяжку на рамах крепи, исключая опасность проскальзывания опорной части затяжки в выработку, что повышает ресурс надежности в запредельной стадии деформирования конструкции. Кроме того, принятые размеры вырезов гарантируют достаточную работоспособность стенок в местах вырезов и возможность разместить затяжки на рамах в случае случайного отклонения межрамного расстояния от проектной величины.

Затяжка работает следующим образом. К месту монтажа ее доставляют в пакетах по 10–12 штук. Прогрессивная пакетная форма доставки [24] оказывается возможной, благодаря желобчатой форме затяжек, что позволяет их укладывать одна в одну (пакетировать).

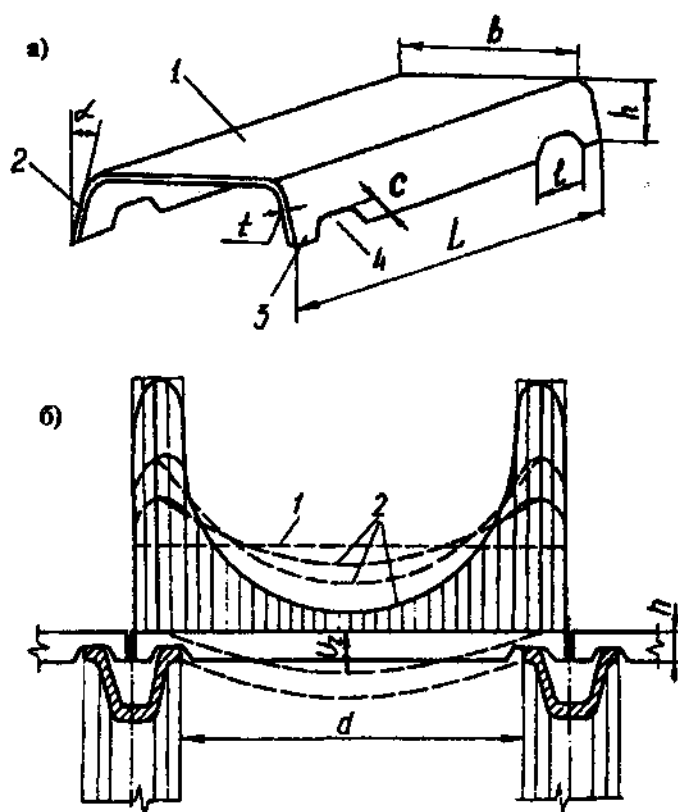


Рис.1.8 Затяжка стальная тонколистовая (ЗСТ):
 а) общий вид; б) эпюры нагрузки в начальной
 стадии работы (1) и при прогибе (2).

На раму крепи натяжку укладывают дном 1 вверх так, чтобы соседние натяжки касались друг друга своими стенками 2, а зацепы 3, благодаря вырезам 4, оказались за фланцами спецпрофиля крепи. Такое размещение повышает стойкость натяжки против изгибно-крутильных деформаций и противодействует проскальзыванию опорной части натяжки в выработку в случае ее запредельного деформирования. При росте внешних нагрузок в боковых стенках 2, которые воспринимают изгибающий момент, возникает пластическое течение металла. Натяжка деформируется путем прогиба в выработку, но, благодаря пластическим свойствам стали, ее грузонесущая способность сохраняется, пока стрела прогиба не достигнет значения $U = (0.1 \div 0.15)d$. Прогиб натяжки из проектного положения в деформированное приводит к тому, что внешнее нагружение в центре натяжки значительно уменьшается и перераспределяется на рамы крепи. Это разгружает пролетную часть натяжки и обеспечивает высокую работоспособность конструкции в податливом режиме. Горное давление в этом случае воспринимают рамы крепи.

Таким образом, разработанная натяжка ЗСТ обладает высокой прочностью и работоспособностью, а ее размещение на наиболее нагруженных участках периметра выработок обеспечивает их надежную эксплуатационную устойчивость.

Перспективны конструкции межрамных ограждений из стального перфорированного листа (рис. 1.9) предложенные НИГРИ [25].

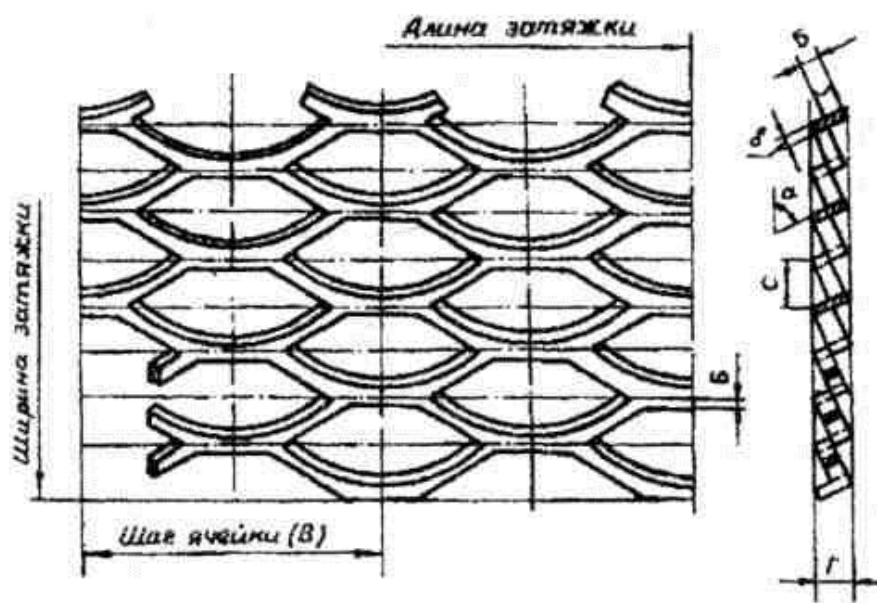


Рис. 1.9. Основные конструктивные параметры перфорированной натяжки: толщина заготовки s ; подача B ; удлинение C ; габаритная толщина Γ ; углы наклона перемычек a и b

При длине 1000 мм, ширине 330 мм и толщине стальной заготовки 3 мм масса одной натяжки составляет около 4 кг. Опытные испытания натяжек на шахтах объединения «Донецкуголь» доказали возможности замены

железобетонных затяжек стальными перфорированными конструкциями без ухудшения состояния горных выработок. Недостатком конструкции следует считать недостаточную надежность зацепления затяжек друг с другом или с профилем крепи, что значительно снижает несущую способность такого межрамного ограждения.

В качестве эластичных конструкций, достоинствами которых является эффективная работа материала на растяжение и перераспределение нагрузки с пролетной части на рамы крепи, следует отметить межрамное ограждение из рулонного стеклотканевого материала [26]. Стеклоткань обладает высокой прочностью на растяжение, негорючестью и химической стойкостью. При стендовых испытаниях удельная нагрузка на стеклоткань достигла 81 кПа, усилие натяжения в стеклоткани - 145 кН [5]. Однако ряд существенных недостатков сдерживает ее широкое применение. Так, закрепление концов стеклоткани деревянными клиньями и соединение полос между собой предопределяет в итоге несущую способность ограждения, которая оказывается значительно ниже, чем у самой стеклоткани (порядка 30-35 кПа). Стеклоткань провисает между рамами и требует натяжения, что усложняет технологию крепления.

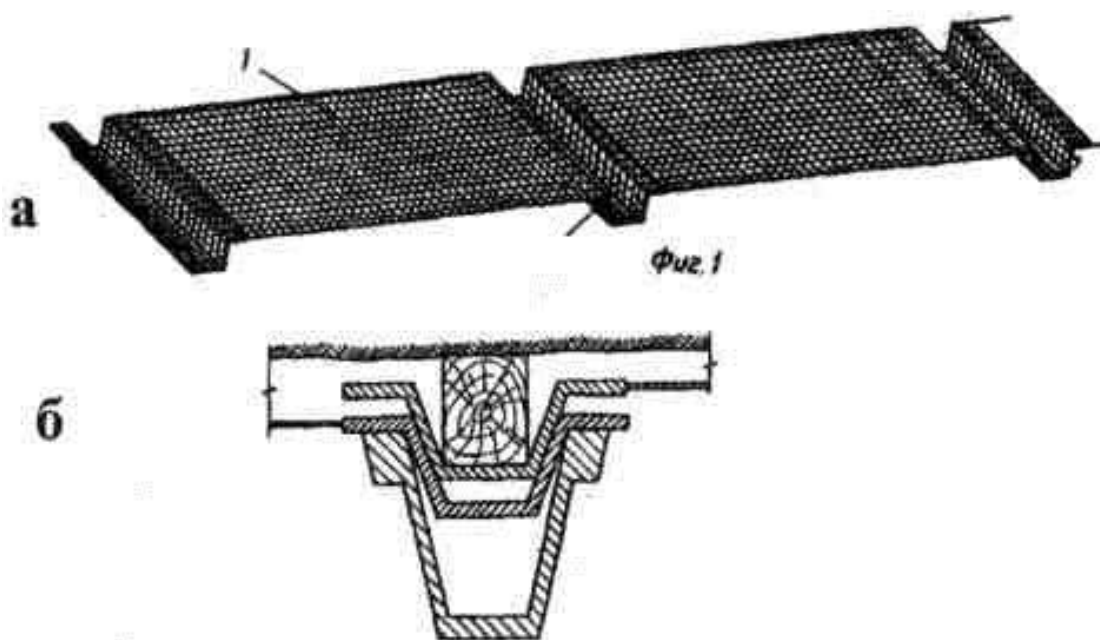


Рис. 1.10. Стеклотканевое межрамное ограждение конструкции НИИОМШСа

Для упрощения установки стеклотканевого межрамного ограждения в НИИОМШСе разработана конструкция (рис. 1.10), снабженная на концах полотна 1 жесткими фиксирующими элементами 2 по форме спецпрофиля рамы [27]. Фиксирующие элементы могут быть получены горячим прессованием стеклоткани. Их при установке межрамного ограждения размещают внутри спецпрофиля рамы, гибкое полотнище натягивают, а арки

расклинивают (рис. 1.10, б). Сложность изготовления такой конструкции сдерживает ее широкое использование.

Непременным условием успешного применения этого типа межрамных ограждений является тщательное забучивание закрепного пространства, так как в противном случае отслаивающиеся куски породы разрывают стеклоткань при падении. Кроме этого, стеклоткань повреждается породой при ведении взрывных работ, что требует первоначального монтажа железобетонной затяжки, затем ее демонтажа и перезатягивания выработки стеклотканью с отставанием от забоя на 15-20 м, что значительно увеличивает трудоемкость работ по креплению выработки. Как показал! исследования [28], эластичные затяжки почти не оказывают сопротивления смещению пород в пролете между рамами, в результате чего выработки, закрепленные ими, деформируются наиболее интенсивно.

С целью исключения указанных недостатков в ИГД им. А.А.Скочинского разработана стеклопластиковая затяжка, прочность которой равна прочности железобетонной, а масса и толщина в 5-6 раз меньше [29]. Она выполнена в виде листа волнистого профиля с плоскими концами (рис. 1.11). За счет ориентации и группировки стекложгутов в изделиях из стеклопластика при их фиксации в матрице (полимерной смоле) можно сконструировать межрамное ограждение, соответствующее заданному распределению нагрузок на крепь. Конструкция предусматривает соединения концов соседних затяжек между собой, что существенно повышает их несущую способность, но усложняет изготовление и монтаж.

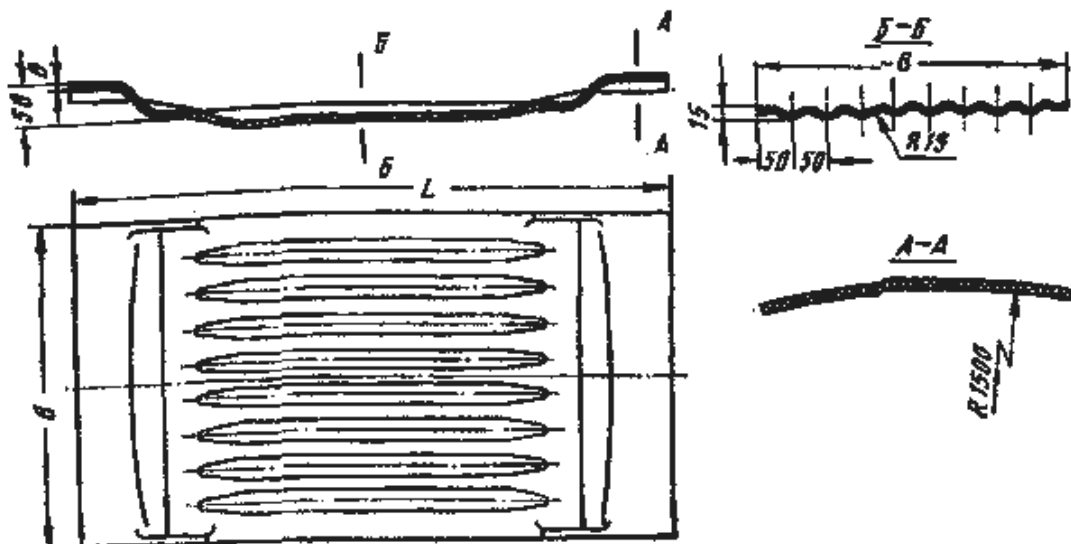


Рис. 1.11 Стеклопластиковая затяжка ИГД им. А.А. Скочинского

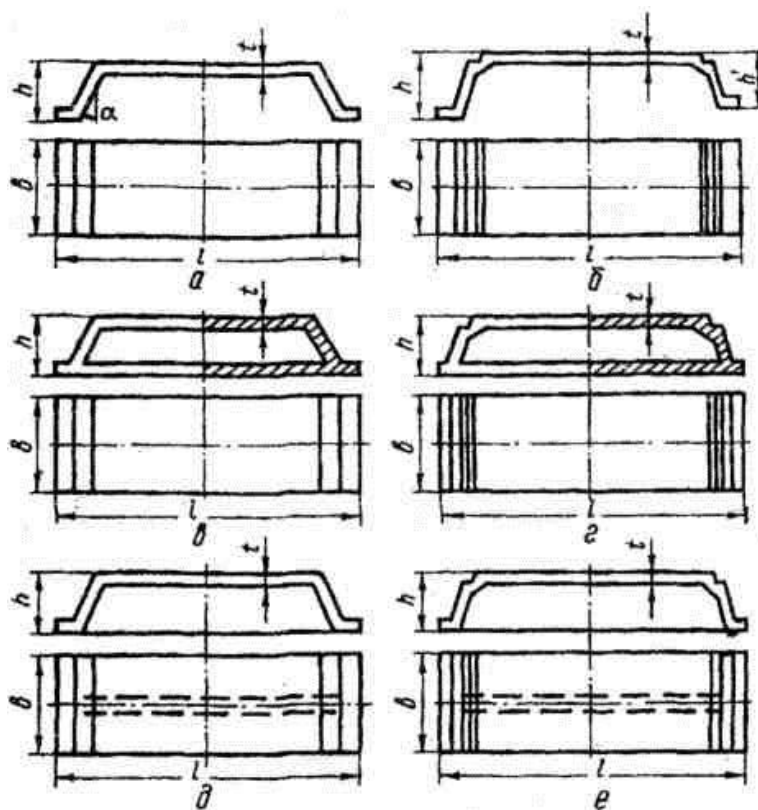


Рис. 1.12. Конструкция профильных затяжек: а,б - простая профильная затяжка; в,г - профильная затяжка с задней стенкой; д,е - то же, с ребром жесткости.

С целью снижения аэродинамического сопротивления рамной крепи, НГАУ разработаны конструкции профильных затяжек из стеклопластика [30], которые позволяют создать гладкую поверхность выработки за счет выступов желоба конструкции в выработку между рамами «заподлицо» со спецпрофилем (рис. 1.12). Эти затяжки обладают высокой прочностью, хотя требуют тщательной установки арок. Несущая способность затяжек ограничена опиранием их концов на спецпрофили соседних рам и необходимостью качественной забутовки из мелкой породы в желобе конструкции.

Препятствием для широкого применения стекло-пластиковых материалов является их высокая стоимость, дефицитность и отсутствие промышленной базы для производства.

Определяющее значение при выборе межрамного ограждения играют экономические показатели шахтных затяжек (табл. 1.2).

Таблица 1.2 Техничко-экономические показатели шахтных затяжек

Тип затяжки	Масса, кг	Несущая способность, кПа	Допустимый прогиб, мм	Срок службы, лет	Относительная стоимость
Деревянная	6-8	10-15	50	1-3	0,3-0,5

Железобетонная	19-24	25-40	20	25-30	1,0
Стеклотканевая	до 1	30-35	200	20	0,5-0,8
Стальная решетчатая	2-4	30-40	200	3-6	0,7-0,9
Стальная листовая	4-6	50-60	150	5-6	1,5-2,0

Однако, применение дешевых конструкции (например, деревянных) без учета проявлений горного давления, срока службы, условий эксплуатации выработки приводят в итоге к значительному перерасходу материальных средств [31].

Таким образом, анализ существующих конструкций межрамных ограждений позволяет выявить две основные тенденции их проектирования: создание жестких конструкций, равнопрочных рамам крепи, и разработку полуэластичных затяжек, перераспределяющих в процессе деформации нагрузку с пролетной части на рамы. Первая тенденция сопряжена с высокой материалоемкостью и стоимостью крепления, хотя из-за неравномерности нагрузок (их концентрации на отдельных участках) по прежнему сложно обеспечить требуемую надежность выработки. Вторая тенденция позволяет затяжкам адаптироваться к проявлениям горного давления и при низкой материалоемкости обеспечивать свои функции. До настоящего времени недостаточно изучен механизм взаимодействия затяжек с массивом горных пород, отсутствуют обоснованные рекомендации по их проектированию, не определены области рационального применения межрамных ограждений в различных горно-геологических условиях.

Следует согласиться с общим выводом проф. Б. А. Картозия: «несмотря на то, что металлокрепь из спецпрофиля применяется давно и в больших объемах, ее конструкция до сих пор не отработана» [32]. В связи с тенденциями удельного роста в угольной промышленности объемов применения рамных крепей значение эффективного проектирования их ограждений еще более возрастает.

Глава 2. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ РАМНЫХ КРЕПЕЙ И МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В период 80-х годов ежегодно на шахтах Украины проводилось до 3 тыс. км горных выработок, а общая протяженность поддерживаемых выработок составляла около 16 тыс. км. В 1991 г. Украина использовала на крепление горных выработок 550 тыс. нового металлопроката, в выработках находилось млн. т металлокрепей, из 16 тыс. км поддерживаемых выработок 12 тыс. км были закреплены стальной рамной крепью [33]. С 1994 г. при значительном

сокращении объемов проведения горных выработок заметно возросло повторное использование восстановления крепи. Расход нового стального проката на крепление снизился до 150 тыс. т, однако тенденция увеличения удельного объема выработок, закреплена стальными рамными крепями, особенно из тяжелых спецпрофилей [34], сохранилась. Их объем применения при строительстве шахт и горизонтов достигает 80-90% в общем объеме проводимых выработок. Столь широкую область применения стальных рамных крепей в угольной промышленности можно объяснить рядом их неоспоримых достоинств:

- возможностью работать в податливом режиме, адаптируясь к смещениям породного контура;
- удачным сочетанием несущей способности профиля и сопротивления податливости, которые примерно равны друг другу;
- простотой конструкции и ее монтажа;
- ремонтпригодностью с возможностью повторного применения;
- отсутствием опасности внезапного разрушения рамы, что делает эту крепь одной из наиболее безопасных.

В то же время, как показывает длительный опыт применения стальных рамных крепей в сложных горно-геологических условиях, им присущ ряд существенных недостатков.

В Донбассе переход горных работ с глубины 500 м на 1000 м вызвал увеличение смещений пород в подготовительных выработках почти в 3 раза, при этом давление на крепь выросло до 200 кПа [5]. Несмотря на высокую материалоемкость рамных крепей, 30-50% их деформированы, а около 20% находятся в неудовлетворительном состоянии [5, 35, 36].

Наиболее актуальна проблема поддержания горных выработок при отработке крутых и наклонных угольных пластов [37], а так же в условиях низкого метаморфизма горных пород [38], что обусловлено повышенной величиной и значительной неравномерностью горного давления в выработках.

Так, данные по горноподготовительным работам в ПО «Орджоникидзеуголь» за 1997 г. (табл. 2.1) свидетельствуют, что объемы полных перекреплений на большинстве шахт приблизительно равны объемам проведения выработок, а объемы перезатягиваний в 1,5-4 раза превышают их. Из-за неудовлетворительной работы межрамных ограждений при относительно устойчивом состоянии рам крепи в подготовительных выработках по объединению был зафиксирован 151 случай травматизма, что составляет около 15 % от их общего числа. На рис. 2.1 показано распределение случаев травматизма за последнее десятилетие, в том числе травматизм от вывалов породы в горных выработках (нижняя кривая), который составляет 7-10 случаев на каждые 1000 м проводимых выработок. Сложившееся положение требует пересмотра практики проектирования межрамных ограждений с позиций безопасности горных выработок.

Таблица 1.1 -Данные по горным работам ПО «Орджоникидзеуголь» за 1997 год

Шахта	Добыча (в год) от до тыс.т	Кол-во подготов. выработок м/год	Объемы полных перекреп лений м/год	Объемы переза тываний м/год	Расход материалов на крепление за год		
					стальна я арка, т	ж/б затяжк а м ³	дерев ян. затяж ка, м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
Юнком	51,0	1080	1947	3420	453	11,0	1032
Карла Маркса	64,6	2010	3290	3015	191	11,2	1411
Красный Профинтерн	67,8	2568	1303	-	630	-	4500
Александровско е	102,6	1007	6715	4079	985	-	1051
Булавинская	103,0	1546	1548	2434	389	10,0	304,0
Ольховатская	171,9	1546	933	616	287	-	1381
Углегорская	11,8	222	955	669	43	-	149
Енакиевская	182,0	1622	НИ	6728	404	5,0	2390
Полтавская	142,8	8478	2478	9725	838,7	10,4	3900
В целом по "ОУ"	897,6	19701	20278	30686	4220,7	47,6	18854

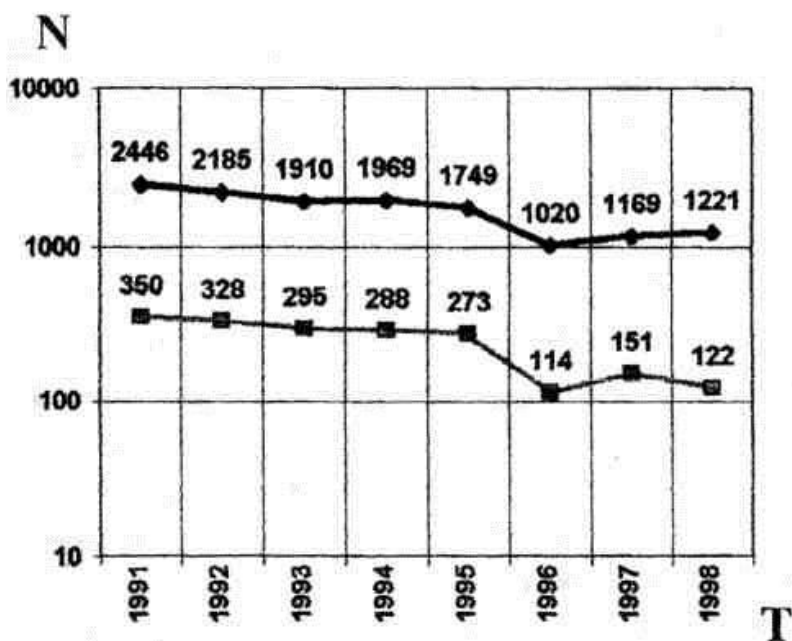


Рис. 2.1 Число случаев (N) шахтного травматизма в ПО «Орджоникидзеуголь»

В Германии акцентируют внимание на затяжке, как наиболее слабым

месте традиционной штрековой крепи, которая не обеспечивает необходимой надежности на протяжении всего срока службы выработки. «Чтобы усовершенствовать всю систему крепления штрека, необходимо в первую очередь решить проблему затяжки» [22]. Недостаточная работоспособность межрамных ограждений сдерживает применение усиленных рамных крепей на угольных шахтах [39].

Как свидетельствуют обследования рамной крепи [12, 35, 36 и др.], состояние затяжки в горных выработках шахт в целом хуже состояния непосредственно рам крепи, о чем свидетельствуют и данные по объемам перезатягиваний, значительно (в 1,5-2 раза) превышающим объемы полных перекреплений [40].

Большинство применяемых шахтных затяжек представляют собой жесткие (хрупкие) конструкции, несущая способность которых должна соответствовать рамам крепи. Однако в реальных условиях имеются значительные неравномерности распределения горного давления по контуру крепи и вдоль выработки, в т.ч. сосредоточенные (или близкие к ним) нагрузки, что является причиной многочисленных отказов жестких затяжек. Это во многом обусловлено переборами породы при буровзрывном способе проведения выработок, которые достигают до 20% сечения (вместо допустимым по нормам 5-7%) и неудовлетворительными контактными условиями взаимодействия крепи с окружающими породами из-за некачественной забутовки [41,42].

Первоначальное отсутствие контакта установленной рамы с массивом пород ведет к беспрепятственному (со стороны крепи) и, потому, ускоренному росту зоны неупругих деформаций и формирует повышенные односторонние нагрузки на крепь. Несущая способность затяжек при этом оказывается недостаточной, происходит их хрупкий излом с просыпанием породы в выработку. Хрупкий характер разрушения затяжек резко снижает безопасность рамной крепи, ведет к повышенному риску травматизма.

Значительное влияние на состояние межрамных ограждений оказывает агрессивная шахтная среда из-за наличия большого количества влаги и газов. Так, если древесина, как строительный материал, в гражданском строительстве весьма долговечна, то в горных выработках срок службы деревянных затяжек колеблется от 0,5 до 3-х лет из-за ускоренных процессов гниения. При этом недостаточная несущая способность древесины, еще более снижается.

Коррозия металла ухудшает состояние и ограничивает срок службы стальных решетчатых и листовых конструкций, поскольку скорость разрушения поверхностного слоя металла в шахтных средах достигает порядка 0,1-0,2 мм в год [33], что требует эффективной антикоррозийной защиты.

Концерном «Рурколе АГ» (Германия) были проведены исследования режима работы и деформации различных систем затяжки с целью установления критериев их выбора с точки зрения горной технологии, безопасности работ и экономичности [43]. Отмечены типичные случаи повреждения сетчатой и решетчатой затяжек:

1. Вытягивание обычной сетчатой затяжки при отжиге разрыхленной породы. Сетчатая затяжка «протаскивается» через профили арочной крепи и провисает между арками, что связано с высыпанием по контуру штрека отслоившейся породы.

2. Срез сетчатой (решетчатой) затяжки на кромке желобчатого профиля податливой арки при тугом натяжении.

3. Разгибание проволок с изогнутыми концами. Конструкция обычной решетчатой затяжки с изогнутыми для скрепления друг с другом концами не оказывает необходимого сопротивления разгибанию.

4. Разрушение продольных прутков перед соединительными элементами. При холодной гибке соединительные элементы слегка ослабляются, в результате чего в системе затяжки появляется «псевдопережим».

5. «Раскрытие» затяжки при сдвигении элементов арочной крепи, так называемый «эффект гардины».

В рамках исследований [43] был разработан стенд, на котором в условиях, приближенных к шахтным, исследовали воздействие разрыхленной отжимаемой породы в зависимости от характера опорной постели: каменной кладки, затвердевшей строительной смеси и др. В результате испытаний не удалось выявить конструкции стальной решетчатой затяжки, применяемой универсально для всех видов опорной постели. Для всех видов конструкций характерна недостаточная возможность соединения отдельных полотнищ сетчатой (решетчатой) затяжки, что приводило к преждевременному выходу ее из строя. Выяснено, что максимальная величина несущей способности достигается после прогибания решетчатой затяжки при метровом пролете на 150 мм. Эта величина подходит в качестве предела при анализе.

Следует отметить, что при многочисленных обследованиях горных выработок, непосредственно межрамным ограждениям уделялось недостаточное внимание и остался нерешенным ряд важных вопросов. Поэтому авторами были проведены натурные наблюдения*, направленные на решение следующих задач:

1. Оценить влияние горно-геологических факторов на состояние рамной крепи и затяжки.

2. Определить соответствие между несущей способностью (прочность и деформируемость) рам крепи и межрамных ограждений.

3. Исследовать характерные типы нагружения, деформирования и разрушения затяжек.

4. Оценить безопасность эксплуатации и частоту ремонта (перезатягивания) выработок для различных типов межрамных ограждений.

Для ведения исследований была разработана методика, включающая сбор следующих групп данных:

а) горная выработка (сечение в свету, глубина залегания, протяженность,

* Авторы признательны инженеру С.Г. Хворостяненко (трест «Луганскуглестрой») и техническим работникам ПО «Орджоникидзе-уголь» за помощь в проведении шахтных наблюдений

угол наклона, угол падения пород, срок эксплуатации);

б) свойства вмещающих пород в кровле, боках и почве выработки (тип, крепость, обводненность);

в) крепь (тип, плотность установки, смещение элементов в замках, выполаживание верхняка, изгиб стоек, разрывы скоб, число перезатягиваний и перекреплений);

г) затяжка (тип, процент отказов в кровле и боках);

д) влияние лавы (мощность пласта и пород непосредственной кровли, шаг осадки, месячное подвигание забоя, способ управления кровлей, способ охраны выработки).

Данные обследований заносились в разработанную для этих целей анкету (табл. 2.2). Было обследовано 57 протяженных горных выработок на 16 шахтах объединений «Орджоникидзеуголь» и «Луганскуголь», что позволило рассмотреть широкий диапазон изменения вариации горно-геологических условий: глубина выработки - от 270 до 975 м; площадь сечения - от 7.9 до 18.3 м²; крепость пород по шкале проф. М.М. Протодяконова - $f = 4 \dots 12$; угол залегания пород - 0 - 64°; срок службы выработки - от 1 года до 25 лет; типы затяжек - деревянная и плоская железобетонная.

Таблица 2.2.

Анкета по обследованию устойчивости горных выработок Просим заполнить анкету, помечая знаками (+,-) данные если ответ вполне достоверен, или знаком (?) в ином случае 1. ПО, шахта горизонт «Орджоникидзеуголь», «Полтавская», гор. 363 м 2. Название выработки: Откаточный штрек участка №69 3. Данные о горной выработке										
Сечение в свету, м ²	Глубина, м	Длина, м	Угол падения пород, град	Угол наклона, град	Тип ГВ		Прослужила лет			
					пластова я	полевая	<1	1-5	>5	
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	
8.5	363	1500	33-36	0	+				+	
4. Свойства вмещающих пород										
Участок сечения	Тип породы	Мощнос ть, м					Смещения пород, мм	Обводненность (есть +, нет -)		
			≤4	5-6	7-8	≥9				
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9		
1. Кровля	4.2.1 Известняк	1.7				+	200	+		
2. Бока	4.2.2 Аргиллит	4.4		+			50	-		
3. Почва	4.2.3 Аргиллит	2.5		+			100	-		
5. Данные по крепи: 5.1 Тип крепи и профиля: 5.1.1 – КМП –АЗ, СВП-22. 5.2 Плотность установки рам/ - 1.										
Смещения в замках, мм			Выполаживание верхняка, мм			Изгиб стоек (есть +, нет -)	Разрыв скоб (есть +, нет -)	Число (раз)		
<50	50-300	>300	<50	50-200	>200			перезатяж ек	крепле ния	под
5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11	5.12	5.13
	+		+			+	-	2	1	0
6. Элементы крепи: 6.1 Тип затяжки: 6.1.1 – деревянная 100%; 6.1.2 –										

Участок сечения		Закрепные пустоты, мм		Наличие забутовки (есть +, нет -)	Число поломанных затяжек, шт/раму			Расклинка узлов податливости (есть +, нет -)	Изгиб межрамных ограждений (есть +, нет -)		
		нет	<100		>100	<5	5-10			>10	
6.2		6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11	
Кровля		+			-				-	+	
Бока			+		+		+		-	-	
7. Влияние лавы: 7.1 – нет (табл. 7 не заполнять); 7.2 – есть (заполнит табл. 7)											
Угол, пласт		Основная кровля				Подвигание лавы, м/мес	Расстояние ГВ до лавы, м			Способ охраны	
индекс	мощность, м	тип пород	мощность, м	шаг осадки, м	способ управления		по нормали	по падению	по простиранию	до лавы	после лавы
7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13	7.14
16	1.6-1.8	известн.	1.5-1.7	30-40	удерж. на кострах	17-30	0	0	0		целик 8м
8. Оценка состояния выработки (указать длину участков в %;											
8.1 - устойчива 90%, 8.2 нужен частичный ремонт 10%, 8.3 – нужна перезатяжка 15%; 8.4 нужна подрывка почвы; 8.5 - перекрепить 0%, Анкету составил (ФИО, должность, подпись, дата): Гармаш И.Н., гл.технолог, 21.05.98											

Обследование подготовительных выработок, в которых применялась деревянная затяжка, показало ее несоответствие работе рам крепи по несущей способности и сроку службы. Типичной можно считать приведенную на рис 2.2 картину отказов деревянных затяжек. Как видно на фотографии, по большей части периметра крепи затяжка разрушена а ее концы опасно выступают в выработку, препятствуя нормальной работе транспорта. Обнаженные нарушенные породы кровли ничем не поддерживаются между рамами крепи и постоянно угрожают обрушением в выработку. Рамы крепи практически лишены возможности удерживать породы в кровле из-за неравномерного и недостаточного контакта с массивом (эффект «обыгрывания» рам).

Большинство выработок с деревянным межрамным ограждением представляют определенную опасность для горнорабочих. Эта ситуация усугубляется тем фактом, что, в связи с кризисной ситуацией в отрасли, объемы ремонтов (перекреплений) явно недостаточны и не соответствуют потребностям шахт.

На основании обследований железобетонных межрамных ограждений было установлено:

1. В условиях наклонного и крутого залегания пород стальная арочная крепь не обеспечивает податливого режима работы (происходит блокировка замков), а железобетонные затяжки массово разрушаются, что свидетельствует о действии на них неравномерных, часто сосредоточенных нагрузок.



Рис. 2.2 Типичное состояние отказов деревянной затяжки в горной выработке.

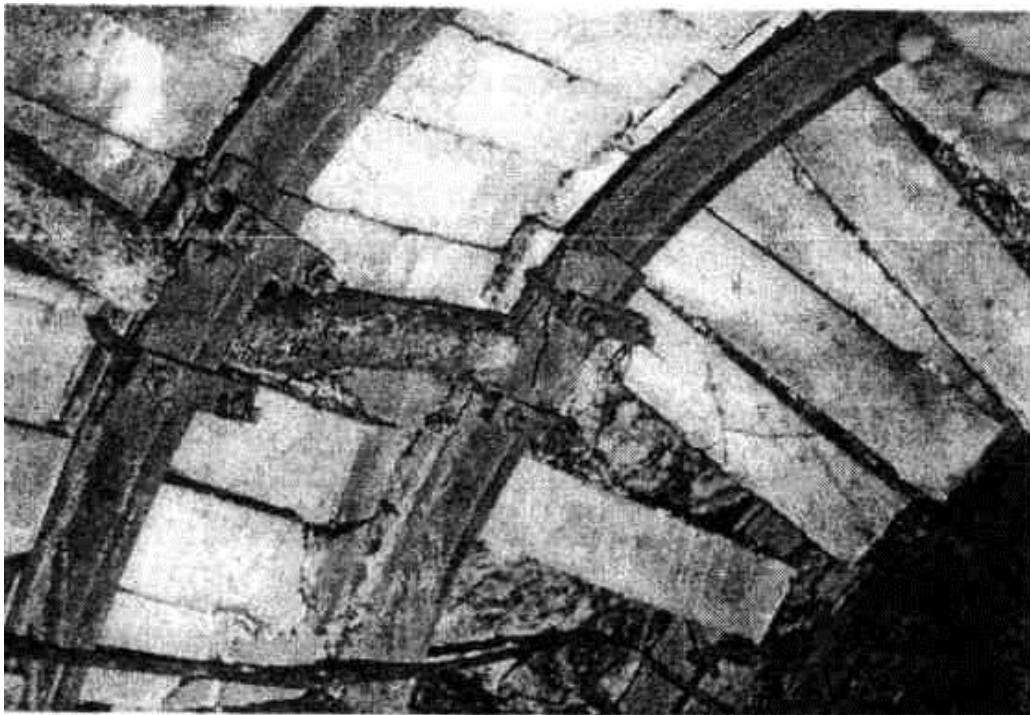


Рис. 2.3 Характерные типы деформаций плоской железобетонной затяжки

2. Характерными видами деформаций железобетонных затяжек являются (рис. 2.3): первичные трещины в бетоне, отломы углов и кромок, излом в пролетной части без и с разрывом арматуры, соскальзывание конца затяжки с фланца спецпрофиля, смятие затяжек при податливости крепи из-за уменьшения ее периметра. Из всех видов деформаций лишь первичные трещины могут считаться допустимыми.

3. В большинстве случаев имеются пустоты за крепью на всех стадиях развития горного давления, в том числе в податливом и жестком режиме работы, когда появляются остаточные деформации элементов крепи. Это свидетельствует о контакте крепи с массивом лишь на отдельном ограниченном участке периметра, а также об отсутствии или плохом качестве забутовки, особенно в кровле выработки.

4. Участки периметра выработки с деформациями крепи и затяжки во многих случаях совпадают. Нередко поломанные затяжки наблюдаются и при отсутствии деформаций рам, что подтверждает факт несоответствия режимов работы крепи и межрамного ограждения, т.е. отсутствие у последнего необходимого запаса прочности или податливости.

5. В горных выработках, где наблюдались пустоты закрепного пространства по всему периметру и, поэтому, затяжки не были загружены, были отмечены поломки некоторых из них на различных участках контура, что объясняется их повреждениями при транспортировке и укладке. Минимальный объем таких затяжек в крепи - 5 - 10%.

6. На пологом залегании в 90% обследованных выработок поломка затяжек в кровле значительно выше, чем в боках, что объясняется преобладающим смещением пород в кровле. Поэтому участки в боках выработки могут служить резервом снижения материалоемкости межрамных ограждений. Для наклонного и крутого падения, где характерно асимметричное распределение нагрузки, таким резервом является часть периметра арки, противолежащая висячему боку пласта.

7. Средневзвешенная надежность железобетонных затяжек по массиву обследованных выработок составляет в кровле 0.68; в боках - 0.80, а на участках с активным проявлением горного давления (в зоне влияния очистных работ) не превышает 0.5.

8. Наиболее влияющим на состояние железобетонной затяжки фактором является вредное влияние очистных работ, наименее важным - срок службы выработки. Следует отметить, что факторы мало коррелируют между собой и их значение менее информативно, чем для рам крепи. Это весьма затрудняет прогноз состояния межрамных ограждений по известным горно-геологическим факторам и требует вероятностного подхода к проблеме.

9. Хрупкий характер разрушения железобетонных затяжек и возможность их соскальзывания со спецпрофиля крепи из-за слабого защемления концов вызывает опасность внезапных вывалов породы в выработку и травматизма рабочих.

Таким образом, следует заключить, что нашедшие широкое распространение в угольной промышленности деревянные и железобетонные затяжки не соответствуют режиму работы стальной крепи по несущей способности и долговечности (деревянные затяжки), поэтому не обеспечивают безопасной эксплуатации выработок. Принятая повсеместно практика применения одного и того же типа затяжки по всему периметру рамы не соответствует принципу оптимального проектирования и ведет к перерасходу материальных ресурсов.

Глава 3

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Для объективной оценки экономических и функциональных характеристик, затяжек различных типов авторами применен функционально-стоимостный анализ (ФСА), позволяющий производить обоснованный выбор технических решений с системных позиций.

Задачу снижения себестоимости изделий можно решать с применением двух подходов: предметного и функционального. Традиционным в области совершенствования горной техники, в том числе и крепей горных выработок, являлся предметный подход, который решает задачу снижения затрат в конкретной конструкции. При функциональном подходе, наоборот,

абстрагируются от реальной конструкции и сосредотачивают внимание на функциях анализируемой системы. При этом изменяется характер и направление поиска путей снижения себестоимости затяжек на основании оценки целесообразности и количественных характеристик тех или иных их функций [44].

Согласно общепринятой методике ФСА [45], сформулируем основные требования к исследуемой системе межрамного ограждения:

- надежное предохранение людей и оборудования от вывалов горной породы на протяжении всего срока службы выработки;
- минимальный вес и себестоимость;
- простота и технологичность изготовления, пакетирования и транспортировки, низкая трудоемкость монтажа;
- устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам, возгоранию, коррозии, гниению;
- ремонтпригодность, возможность повторного использования.

В соответствии со сформулированными требованиями, межрамные ограждения должны обеспечивать реализацию главной, основных и вспомогательных функций (табл. 3.1).

Таблица 3.1 Классификация функций межрамных ограждений

Класс функций	Обозначения	Описание функций
Главная	Φ_0	Ограждение выработки от вывалов в нее горной породы
Основные	Φ_1 Φ_2	Восприятие нагрузки от давления пород Передача усилий на рамы крепи
Вспомогательные	Φ'_1 Φ'_2 Φ'_3 Φ'_4 Φ'_5 Φ'_6	Снижение сопротивления крепи воздушной струе Предохранение пород от выветривания Функция межрамных распорок (стяжек) Функция опалубки при тампонаже закрепного пространства Функция армировки при набрызге или бетонировании Создание эстетичного оформления выработки

В ФСА под условной «стоимостью» функций имеют в виду любые затраты, связанные с ее реализацией. Для оценки «стоимости» обычно используют универсальный метод экспертных сравнений. По каждому стоимостному показателю и для каждого варианта реализации функций (для каждого типа затяжки) устанавливалась относительная шкала оценок (рейтинг), т.е. лучшему варианту присваивалась «стоимость» 1, худшему - «стоимость» m , равная числу сравниваемых вариантов.

Оценка затрат C_1 производилась с учетом коэффициентов удорожания k

стоимостей функций (затраты на ремонт) в зависимости от показателей надежности затяжек.

Отказ затяжки следует трактовать как частичную или полную потерю способности выполнения функций, вызывающую необходимость проведения дополнительных работ в выработке по его устранению. Очевидно, отказ - это случайное событие, вероятность наступления которого равна возможности превышения действующей нагрузки на затяжку над ее несущей способностью [46]. Численный расчет произведем, используя известные трактовки надежности строительных конструкций [47] как суперпозицию нормальных законов случайного распределения нагрузок S и прочности R затяжки. Если учесть, что дисперсия прочности по сравнению с дисперсией нагрузок невелика, то формула вероятности отказов p будет иметь вид:

$$p(S > R) = 1/2 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{1-r}{\sqrt{2k_v}} \right) \quad (3.1)$$

где erf - функция вероятности;

r - коэффициент перегрузки, равный отношению математических ожиданий действующей на затяжку нагрузки к ее прочности;

k_v - коэффициент вариации нагрузки.

Рассчитанные значения p приведены в табл. 3.2. Из нее следует, что вероятность разрушения затяжки существенно возрастает по мере роста перегрузки.

Таблица 3.2 Вероятность отказов затяжки в зависимости от коэффициента вариации нагрузки

Коэфф k_v	Вероятность отказов затяжки при γ										
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,3	0,0	0,00	0,02	0,09	0,25	0,5	0,75	0,91	0,98	1,00	1,00
0,5	0,02	0,06	0,12	0,21	0,35	0,5	0,66	0,79	0,88	0,94	0,98
1,0	0,02	0,21	0,27	0,34	0,42	0,5	0,58	0,66	0,73	0,79	0,98

В то же время необходимо обратить внимание на то, что если нагрузка на затяжку меньше ее прочности ($\gamma < 1$), то вероятность разрушения не равна нулю и тем больше, чем выше коэффициент вариации k_v . Он является сложной функцией, зависящей от взаимодействия затяжки в системе «рама-забутовка-массив» и качества работ по проведению и креплению выработки. Чем весомее нарушения технологии, тем больше неравномерность распределения нагрузки и выше k_v : если относительная нагрузка незначительна (например, только 20% прочности), то при $\gamma = 0,5$ будет разрушено 6%, а при $k_v = 1$ - каждая пятая затяжка.

В этой связи особую важность для правильной экономической оценки обеспечения функции межрамного ограждения приобретают условные показатели их надежности, которые в трактовке авторов, отражают соответствие того или иного типа межрамных ограждений сроку службы выработки (α_t), ожидаемым смещениям породного контура и несущей способности рам крепи (α_σ).

Таким образом:

$$C_i = k_y \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (3.2)$$

где γ_i - оценка i-го показателя затрат, $1 < i < n$;

n - количество показателей затрат;

k_y - коэффициент удорожания. Его следует определять по формуле:

$$k_y = \frac{1}{\alpha_t \cdot \alpha_\sigma} \quad (3.3)$$

здесь α_t - показатель надежности по сроку службы выработки, представляющий отношение срока службы затяжки T_3 к проектному сроку службы выработки T_B .

$$\alpha_t = \frac{T_3}{T_B} \text{ (если } T_3 > T, \text{ принимать } \alpha_t = 1). \quad (3.4)$$

Срок службы затяжки T_3 обусловлен в данном случае ее разрушением от воздействия агрессивной шахтной среды (коррозия металла, гниение дерева и др.) и не зависит от силовых факторов нагружения затяжки. Таким образом, если срок службы затяжки оказывается меньше срока службы выработки, возникает необходимость ее перекреплений, затраты на которые и учитывает показатель α_t .

Отметим, что α_σ в формуле (3.3) - это показатель надежности по соответствию несущих способностей затяжки и рамы:

$$\alpha_\sigma = k_p k_H q_3 / q_K \quad (3.5)$$

где q_3 - несущая способность межрамного ограждения, кПа;

q_K - несущая способность рамы крепи в податливом режиме работы, кПа;

k_p - коэффициент режима работы крепи, отражающий изменение несущей способности рамы при переходе из податливого в жесткий режим работы ($k_p = 1$ при податливом режиме; $k_p = 0.75$ - при жестком, что учитывает соответствующее повышение сопротивления рамы);

k_H - коэффициент неравномерности нагружения затяжки, который

позволяет учесть снижение ее несущей способности при неравномерном нагружении ($0,5 \leq k_n \leq 1$), причем, $k_n = 0.5$ при сосредоточенной нагрузке в центре пролета (отсутствие забутовки закрепного пространства), $k_n = 1$, когда нагрузка равномерно распределена по площади затяжки (качественная забутовка). Если несущая способность затяжки оказывается ниже, чем у рамы в податливом режиме, межрамные ограждения начинают разрушаться еще до начала податливости крепи. Переход рамы в жесткий режим работы еще более интенсифицирует этот процесс, что отражено в показателе α_σ . Следует отметить, что все типы применяемых межрамных ограждений (в том числе и железобетонные затяжки) с учетом коэффициента неравномерности нагружения обладают меньшей несущей способностью, чем рамы крепи.

Однако, если затяжка обладает податливостью (возможностью прогиба под нагрузкой без разрушений), то, пока смещения пород не превысят величины ее прогиба, затяжка сохраняет работоспособность, перераспределяя нагрузку с пролетной части на рамы крепи. Поэтому, в случае, когда ожидаемые смещения ниже конструктивной податливости затяжки необходимо принимать показатель $\alpha_\sigma = 1$, что существенно снижает коэффициент удорожания k_y .

В табл. 3.3 приведены оценки показателей затрат для различных типов межрамных ограждений, а в табл. 3.4 - оценки затрат с учетом проектного срока службы выработки и прогнозируемых смещений пород. При определении коэффициентов удорожания использовались данные табл. 1.2.

Таблица 3.3 Оценки показателей затрат для обеспечения основных функций межрамных ограждений

Тип затяжки	Показатели затрат			$\sum_1^3 \gamma_i$
	Цена изделия γ_1	Транспортные расходы* γ_2	Трудоемкость монтажа γ_3	
1. Деревянная	1	3	1	5
2. Железобетонная	4	5	3	12
3. Стеклотканевая	2	1	5	8
4. Стальная решетчатая	3	2	4	9
5. Стальная листовая	5	4	2	11

Примечание:

* - в транспортные расходы следует включать затраты на повреждения затяжек при транспортировке.

Таблица 3.4 Оценки затрат (С) с учетом показателей надежности работы затяжек*.

Тип затяжки	Прогнозируемые смещения порог, мм											
	<50			50 - 150			150 - 300			> 300		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Деревянная	S	10	33	22	44	143	22	44	143	29	59	191
Железобетонная	20	20	20	20	20	20	20	20	20	27	27	27
Стальная решетчатая	9	9	26	9	9	26	17	17	49	23	23	65
Стальная листовая	11	11	28	11	11	28	12	12	31	16	16	41

Примечание:

* Стеклотканевая затяжка в связи с отсутствием данных для определения показателей надежности исключена из дальнейшего анализа.

Графическое отображение данных табл. 3.4 приведено на рис. 3.1.

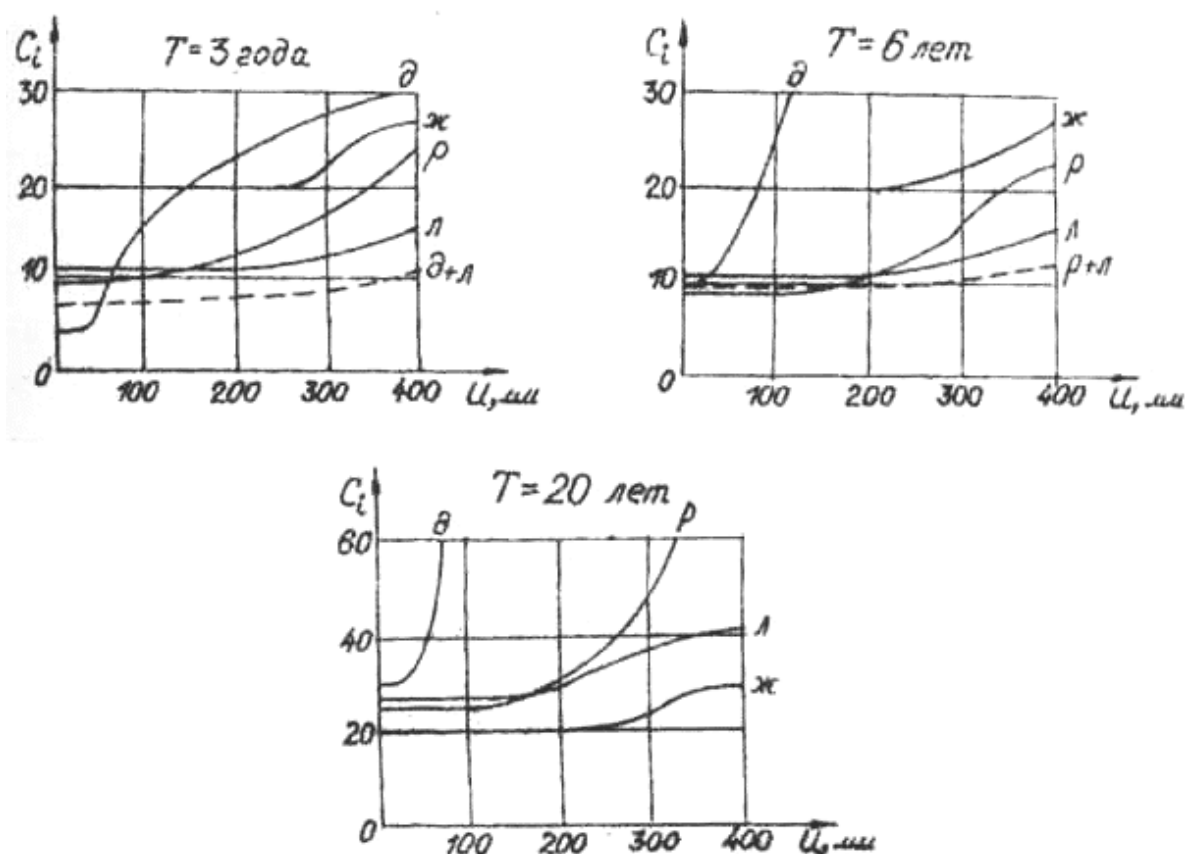


Рис.3.1. Функциональные затраты в зависимости от срока службы Т выработки и смещений U горных пород: д - деревянная затяжка; р - решетчатая стальная; л - листовая стальная; ж - железобетонная; д+л (р+л) - комбинированные

Рассмотрены три варианта проектного срока службы выработки (Т): I - 3 года, II - 6 лет (наиболее типичные случаи для погашаемых подготовительных

выработок) и III - 20 лет (для капитальных выработок). Анализ графических зависимостей (рис. 3.1) позволяет с системных позиций определить эффективную область применения различных типов межрамных ограждений.

Так, крепление деревянной затяжкой в 2 - 4 раза дешевле, чем стальными и железобетонной, когда $T = 3$ года и $U < 50$ мм. Однако использование стальных рамных крепей при столь малых смещениях пород нецелесообразно. При $U > 50$ мм затраты на деревянные межрамные ограждения близки к железобетонным и больше стальных в 1.5-2 раза, что обусловлено явным несоответствием несущих способностей деревянной затяжки и рамы, а, следовательно, необходимостью регулярного перезатягивания больших площадей межрамного ограждения.

С увеличением срока службы выработки издержки при использовании дерева значительно возрастают: при $T = 6$ лет затраты выше в 2 - 4 раза (при $U > 50$ мм), а при $T = 20$ лет в 3 - 5 раз, чем у других типов межрамных ограждений. И это при том, что учтенная в ФСА цена деревянной затяжки самая низкая из всех типов. Это подчеркивает ошибочность внесистемного (частного) подхода к выбору межрамных ограждений, когда начальная цена изделия выступает главным аргументом его предпочтительности.

Железобетонная затяжка характеризуется значительно меньшим разбросом значений в зависимости от смещений пород и срока службы выработки. Однако затраты на ее использование при $T=3÷6$ лет в 1.5-2 раза выше, чем в случае применения стальных растяжек. Это объясняется жестким режимом ее взаимодействия с массивом и недостаточной величиной несущей способности при сосредоточенных нагрузках. В то же время, в капитальных выработках с $T = 10$ лет и более, железобетонная затяжка имеет лучшие стоимостные показатели на всем интервале смещений за счет своей долговечности (на коэффициент удорожания не влияет показатель $\alpha_1=1$), что позволяет рекомендовать ее для этих условий.

Стальные решетчатые и листовые затяжки близки по своим стоимостным оценкам друг к другу при вмещениях пород до 150 мм, когда они работают в податливом режиме. При больших смещениях листовые конструкции предпочтительнее решетчатых за счет своей высокой прочности, близкой к несущей способности рамы. Эти типы межрамных ограждений имеют хорошие стоимостные показатели при $T=3÷6$ лет и могут быть рекомендованы для подготовительных выработок в зоне вредного влияния очистных работ.

Как показывает проведенный анализ [48], значительные резервы в экономии средств можно получить, сместив акцент с функции восприятия нагрузки от давления пород (Φ_1) на функцию передачи усилий на рамы крепи (Φ_2). Наиболее экономичное выполнение главной функции (Φ_0 будет достигнуто, если основная функция Φ_1 предстанет не как обеспечение жесткого отпора силам горного давления, а как возможность сбора усилий на данной площади для передачи их на рамы крепи (т.е. Φ_1 становится подфункцией Φ_2). Такому подходу в полной мере отвечают стальные решетчатые и тонколистовые конструкции затяжек, которые должны стать базовыми типами

межрамных ограждений при креплении подготовительных выработок.

Глава 4.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА АРОЧНУЮ КРЕПЬ И ЗАТЯЖКУ

Опыт применения рамных крепей свидетельствует, что даже при использовании эффективных средств обеспечения контактного взаимодействия крепи с массивом (тампонаж закрепного пространства, рукава "Буллфлекс", предварительный распор и др.), обеспечить равномерно распределенную нагрузку на крепь не удастся из-за различия смещений пород по контуру выработки. Это приводит к возникновению неравномерных усилий в элементах рамы по ее периметру.

В процессе развития горного давления в выработке породное обнажение, смещаясь, как правило, по нормали к напластованию, начинает контактировать через забутовку и затяжку с ближайшим участком рамы. Поэтому на первом этапе нагрузка на крепь формируется лишь на достаточно узком отрезке ее периметра. Затем, по мере сжатия забутовки и прогиба (податливости) верхняка, этот участок контакта заметно расширяется. На части периметра рамы, которая смещается в сторону массива, контактируя с породным обнажением, возникает пассивный отпор пород.

Следовательно, из рассмотрения процесса нагружения крепи можно сделать вывод, что действующая на разные отрезки периметра рамы нагрузка существенно различна. Если на участке "активного" нагружения величина нагрузки в первую очередь предопределяется сопротивлением податливых узлов рамы, а ее распределение - свойствами забутовки закрепного пространства, то на остальных участках периметра нагрузка от пассивного отпора подчиняется иным закономерностям. Ее величина предопределяется толщиной и жесткостью забутовки, а распределение, кроме этого, во многом зависит от жесткости рамы. Поэтому, даже при самом благоприятном стечении обстоятельств (точное оконтуривание выработки, тщательная равномерная забутовка, идеальное соблюдение технологии проведения и крепления выработки и пр.), нельзя гарантировать равномерного распределения нагрузки по периметру рамы.

Отсюда можно с достаточно высокой обоснованностью утверждать, что широко распространенные в проектной практике расчеты крепи на равномерно распределенную нагрузку не соответствуют реальному процессу взаимодействия крепи с породным массивом и значительно переоценивают грузонесущую способность крепи. По сути, такие расчеты имеют условный характер, а в ряде случаев дезориентируют не только производителей, но и проектировщиков при оптимизации параметров крепления, в частности, при выборе запасов прочности и надежности.

Вопрос о распределении нагрузки по периметру крепи приобретает особую важность не только с точки зрения выравнивания усилий в конструкции

рамы (что рассмотрено в работах [49,50]), но и для выбора прочностных показателей межрамных ограждений.

Если определить участки периметра с повышенной интенсивностью нагружения, то, установив здесь более прочную затяжку, можно обеспечить высокую надежность крепи. С другой стороны, на тех отрезках периметра рамы, где нагрузка со стороны пород оказывается пониженной (или вовсе отсутствует), установка облегченных конструкций затяжек может снизить стоимость крепления без ущерба для безопасности выработки.

Для изучения особенностей формирования нагрузки на крепь в процессе ее контактного взаимодействия с массивом, рассмотрим следующую расчетную схему (рис. 4.1). Участок крепи, подверженный активному нагружению и смещающийся внутрь выработки, называют зоной "отлипания", а его размер зависит от свойств пород, забутовки закрепного пространства и деформационных показателей верхняка рамы.

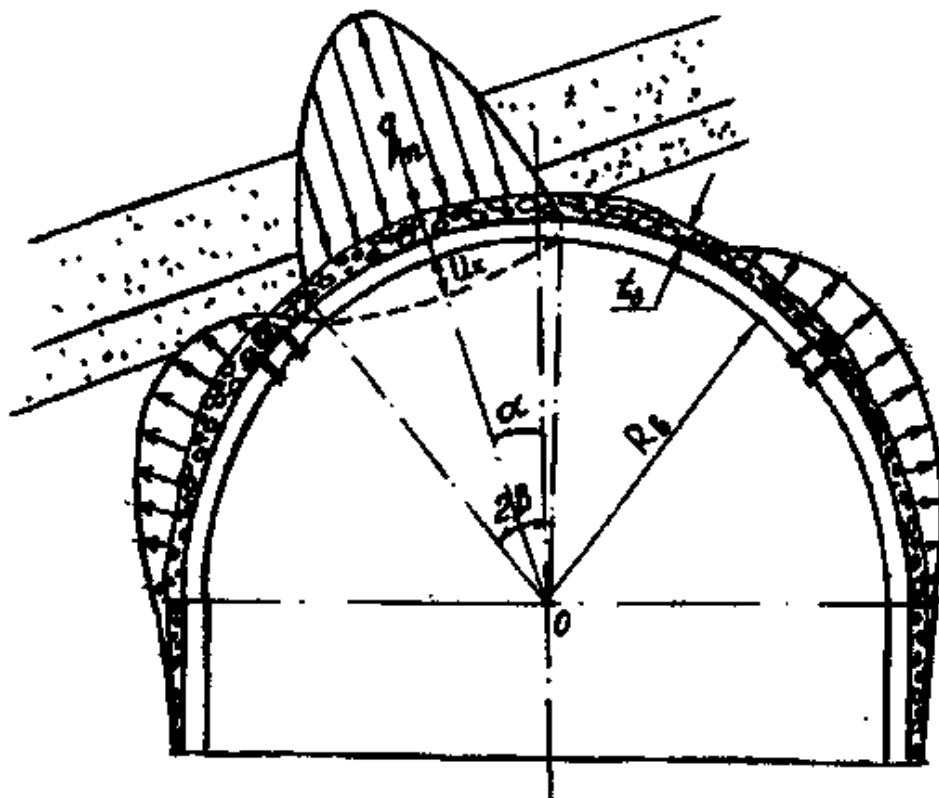


Рис. 4.1 Распределение нагрузки на раму крепи

За меру контакта может быть принят угол β ($-\frac{\pi}{4} < \beta < \frac{\pi}{4}$), показывающий угловую координату двух границ участка контакта (в радианах) от нормали из центра выработки к напластованию пород в кровле:

$$p = \pm \arccos[l - (U_n + U_K + U_3)/R_B], \quad (4.1)$$

где U_n - деформации смятия пород на участке контакта с крепью, м;

U_K - прогиб верхняка под нагрузкой, м;

U_3 - податливость забутовки на участке контакта "рама-кровля", м;

R_B - радиус верхняка крепи, м.

Сущность уравнения (4.1) становится достаточно ясна из следующих рассуждений. Если система "крепь-забутовка-породный массив" абсолютно жесткая, что можно характеризовать одновременным выполнением условия $U_n=U_K=U_3=0$, то участок контакта предельно мал: $p=0$ и на крепь действует в точке контакта с породами сосредоточенная нагрузка. Такой случай можно зачастую наблюдать, когда арочную крепь устанавливают под "плоскую" кровлю без забутовки. По мере увеличения прогибов верхняка крепи и податливости забутовки участок контакта увеличивается и в пределе может составить прямой угол ($\beta = \pm \frac{\pi}{4}$).

Деформация смятия пород U_n на участке их контакта с верхняком зависит от их прочности, показателей деформативности и пластичности, степени развития трещин разрыва сплошности (расслоения) вдоль напластования пород, что осредненно характеризуют коэффициентом разрыхления. Чем больше прочность и жесткость породы, тем меньше влияние этого показателя на деформацию смятия U_n . Коэффициент разрыхления пород при их смещении в выработку изменяется в зависимости от напряжений, действующих в породе, и, на последних стадиях ее разрушения, от реакции (отпора) крепи. Если крепь работает в режиме линейно возрастающего сопротивления, то трещины расслоения, концентрация которых максимальна у контура по нормали к напластованию пород, начинают смыкаться, создавая эффект смятия и снижения коэффициента разрыхления. При этом происходит уменьшение прогиба пород в выработку по нормали к напластованию и снижение неравномерности нагружения крепи. На практике реальные крепи отклоняются от строгого режима линейно возрастающего сопротивления, поэтому можно считать, что при исчерпании податливости и переходе к жесткому режиму эффект смятия проявляется еще отчетливее.

Взаимодействие податливой крепи с массивом в режиме заданного нагружения, когда коэффициент жесткости равен или близок к нулю, отличается более плавным изменением параметров разрыхления пород окружающего массива. Если режим работы крепи характеризуется падающим (запредельным) участком, т.е. когда ее отпор по мере развития смещений начинает снижаться (коэффициент жесткости отрицательный), следует ожидать заметного увеличения раскрытия трещин, повышения коэффициента разрыхления и, соответственно, неравномерности нагрузки на крепь. Учитывая то обстоятельство, что в реальных конструкциях податливой крепи при работе узлов податливости ее отпор изменяется скачками, можно прогнозировать примерно такого же характера изменения трещиноватости пород в массиве во времени. Шахтные инструментальные наблюдения подтверждают периодическое (скачкообразное) изменение раскрытия трещин в процессе взаимодействия крепи с массивом [51].

Прогиб U_K верхняка крепи можно учесть расчетными методами строительной механики как элемента рамы под действием активной нагрузки на участке контакта 2β (см. рис. 4.1). При этом следует принять во внимание кинематические ограничения смещений крепи на тех участках периметра, где обеспечен контакт с породным контуром и возникает пассивный отпор пород. Естественно, такая постановка задачи приводит к необходимости учета нелинейного характера взаимодействия крепи и массива, однако при наличии современных ЭВМ она не представляет особой сложности. Основное затруднение при этом - определение исходных показателей по оценке плотности и отпорных характеристик забутовки закрепного пространства.

Главную деформационно-силовую характеристику забутовки дает ее компрессионная кривая, устанавливающая связь между давлением и уплотнением материала:

$$q = \sigma_0 \left[\frac{U_3}{(\varepsilon_0 t_3 - U_3)} \right]^n. \quad (4.2)$$

где q - давление на забутовку, Па;

σ_0 , ε_0 , n - параметры компрессионной кривой забутовки, определяемые экспериментально;

U_3 - смещение поверхности забутовки, м;

t_3 - толщина забутовочного слоя, м.

Зависимость (4.2) достаточно удовлетворительно описывает поведение раздробленных материалов до момента начала разрушения отдельных кусков в точках контакта. Для определения входящих в уравнение (4.2) параметров компрессионных свойств забутовки достаточно произвести сжатие под прессом заданного слоя забутовки из пород реального фракционного состава [52]. Повышая ступенями нагрузку, необходимо фиксировать абсолютные смещения плиты пресса, что позволяет построить эмпирические графики $q=f(U_3)$ (рис. 4.2). Обработывая их методом наименьших квадратов, нетрудно определить параметры σ_0 , ε_0 , n .

Если крепь работает в податливом режиме, то распределение нагрузки на участке контакта "крепь-массив" описывается степенной зависимостью:

$$q(\xi) = q_m \left[1 - (|\xi|/\beta)^m \right] \quad (4.3)$$

где q_m - математическое ожидание максимума нагрузки в центре участка контакта, кПа;

m - параметр, характеризующий степень распределительной способности забутовки и разрушенных пород в кровле, для сыпучих пород $m \rightarrow \infty$ (равномерно распределенная нагрузка), для монолитных пород $m=0$ (сосредоточенная нагрузка), для обычных условий $m=0.5...3$.

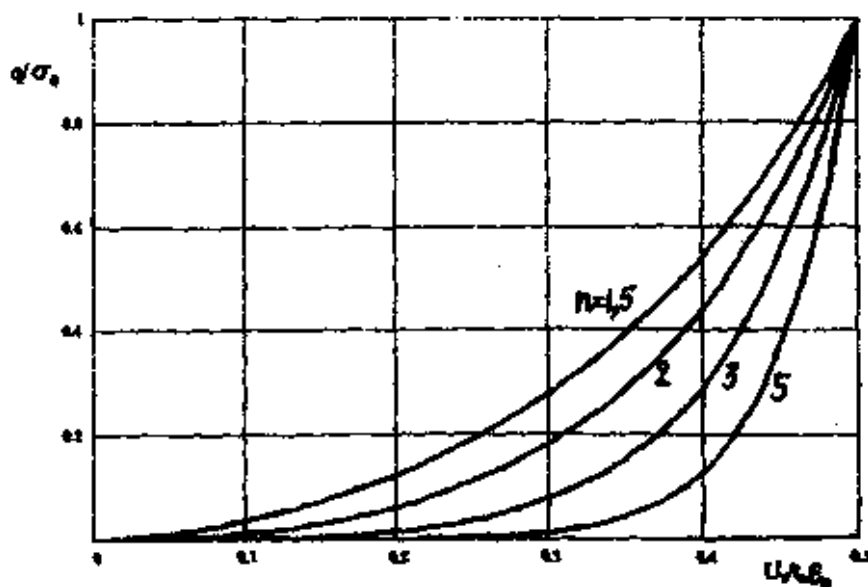


Рис. 4.2. Компрессионные кривые для забутовочного материала с различной жесткостью n

Такая зависимость оказывается весьма близкой к реальной и позволяет описать достаточно широкий диапазон условий взаимодействия крепи с массивом. Чем более жесткий режим сопротивления крепи и прочнее порода, тем неравномернее распределяется нагрузка на участке контакта с породой (рис. 4.3).

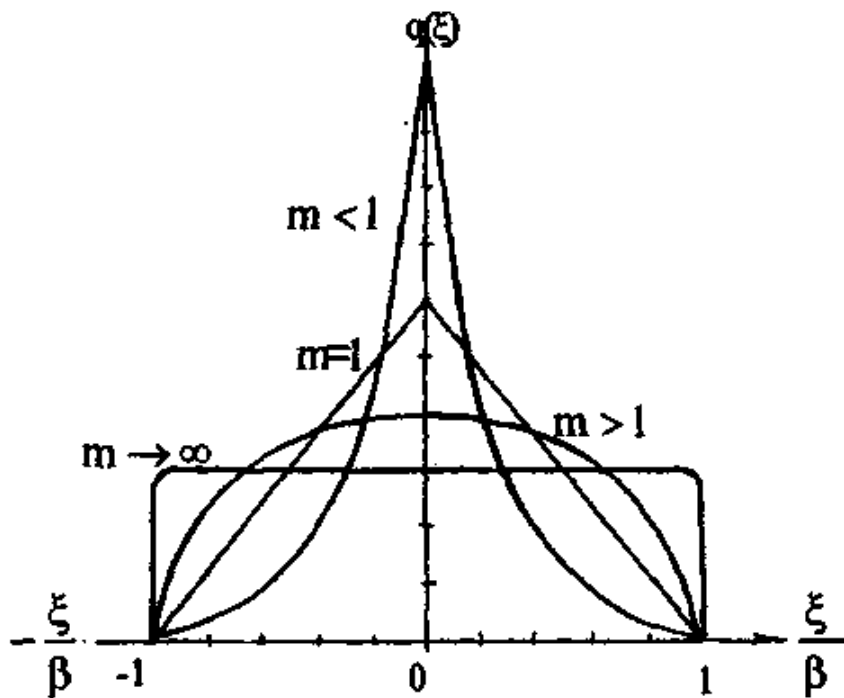


Рис. 4.3 Распределение нагрузки на участке контакта

Чтобы определить значения максимума контактного давления q_m ,

воспользуемся деформационно-силовой характеристикой крепи в податливом режиме работы. В частности, при наступлении стадии податливости несущая способность рамной крепи предопределяется сопротивлением сдвигу спецпрофилей в узлах податливости. Отсюда можно заключить, что несущая способность крепи равна суммарному сопротивлению P_n узлов податливости в направлении по нормали к напластованию пород. Следовательно, суммарная нагрузка на крепь на участке контакта длиной βR_B равна сопротивлению узла податливости P_n :

$$\int_0^{\beta} q(\xi) R_B d\xi = P_n. \quad (4.4)$$

Подставляя (4.3) в это уравнение и вычисляя определенный интеграл, получим

$$P_n = \frac{q_m R_B \beta m}{(m+1)}, \quad (4.5)$$

что позволяет определить значения q_m :

$$q_m = \frac{P_n \left(1 + \frac{1}{m}\right)}{\beta R_B}. \quad (4.6)$$

где P_n - среднее сопротивление замка податливости крепи в направлении по нормали к напластованию пород на единицу длины выработки, кН/м.

Таким образом, для реальных условий взаимодействия крепи с массивом характерна важная закономерность, которая состоит в том, что формирующаяся нагрузка на крепь является неравномерной, концентрируется по нормали к напластованию пород и зависит от степени их расслоения, компрессионных параметров забутовки закрепного пространства и деформационно-силовой характеристики крепи [53].

Существующие рамные крепи предусматривают использование одного и того же спецпрофиля по всему периметру, что находится в противоречии с условиями нагружения рамы, создающими неравномерное распределение усилий на разных участках крепи. Вследствие этого участок периметра, ограниченный пределами действия активной нагрузки, оказывается перегруженным, деформируется и приводит к разрушению всей конструкции, тогда как остальные участки сохраняют невостребованный запас прочности. Отсюда следует вывод о неэффективном использовании материала в рамных крепях.

Из полученных результатов следует, что межрамные ограждения шахтной крепи оказываются в резко отличающихся по периметру рамы условиях нагружения. Как следует из (4.4) и (4.6), на наиболее нагруженном

участке периметра крепи $-\beta \leq \xi \leq \beta$ следует ожидать, в свою очередь, значительной неравномерности контактного давления $q(\xi)$, которое достигает максимума вблизи центра участка и снижается до минимума у его концов ($\xi = \pm\beta$).

Такая особенность взаимодействия крепи с породой приводит к часто наблюдающемуся в шахтных условиях закономерному разрушению затяжек в районе наибольшего нагружения крепи. С другой стороны, вне участка контакта ($\xi > \pm\beta$) значительной нагрузки на затяжку ожидать не следует и ее эксплуатационная надежность будет достаточно высокой.

Создавшееся положение, когда по всему периметру рамы принимался один и тот же тип ограждения, можно было объяснить и оправдать на ранних этапах развития горной технологии, когда закономерности формирования нагрузки на крепь были неизвестны и разработчики стремились обеспечить работоспособность конструкции при любом случайном ее нагружении путем равномерного распределения материала по всему контуру выработки. В настоящее время с высокой степенью достоверности установлены основные закономерности взаимодействия системы "крепь-массив", которые подтверждены практикой эксплуатации рамных крепей в разнообразных горнотехнических условиях и позволяют оптимизировать не только конструкцию рамы, но и обосновать выбор геометрических размеров и прочностных параметров межрамного ограждения.

Таким образом, в условиях неравномерных смещений пород наиболее эффективным следует считать применение комбинированного межрамного ограждения из затяжек с различной работоспособностью, причем на участках активного нагружения крепи и над проходами для людей межрамное ограждение должно обладать или достаточной податливостью, обеспечивающей перераспределение нагрузки с пролетной части затяжек на рамы крепи, или повышенной в 2-3 раза несущей способностью.

Глава 5.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАТЯЖЕК С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МАССИВОМ ГОРНЫХ ПОРОД

Рамные податливые крепи изготавливают из стального проката специального взаимозаменяемого профиля пяти типоразмеров от СВП-17 до СВП-33. Несущая способность рамы изменяется от 140 до 200 кН в податливом режиме и от 260 до 400 кН в жестком [54]. Однако она оказывается недостаточной для крепления выработок на больших глубинах. За счет усиления наиболее нагруженных элементов можно вдвое повысить несущую способность крепежной рамы [50], что требует соответствующей прочности межрамного ограждения.

При ширине выработки в проходке 5,8 м допустимая распределенная нагрузка на крепь из профиля СВП составляет в податливом режиме 40 кПа, в

жестком - около 70 кПа при установке рам с шагом 1 м. Однако прочность применяемых затяжек, как правило, не соответствуют несущей способности рамы. Наибольшей жесткостью обладают железобетонные затяжки, которые выдерживают в зависимости от класса бетона и арматуры от 25 до 40 кПа [54].

Приведем порядок расчета типовой железобетонной затяжки (рис. 5.1) на равномерно распределенную нагрузку.

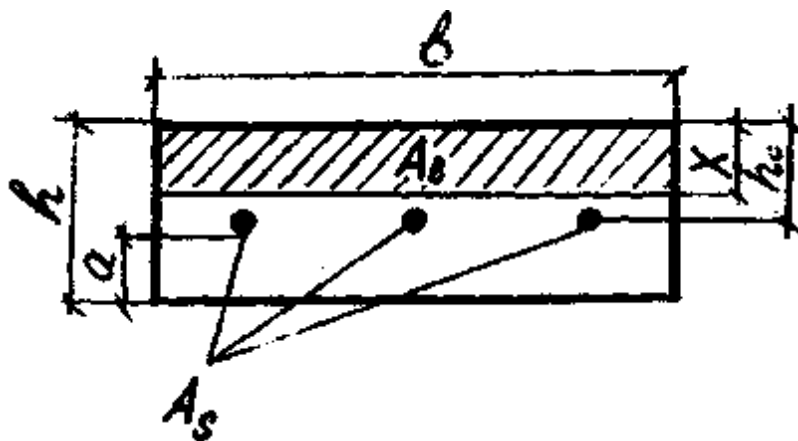


Рис. 5.1. Сечение плоской железобетонной затяжки

Для бетона класса В15 при коэффициенте условий работы $\gamma_{bl}=1$ расчетное сопротивление на сжатие составляет $R_b=8.5$ МПа. Расчетное сопротивление арматуры на растяжение равно $R_s=225$ МПа, площадь поперечного сечения арматуры $A_s=1.51 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Толщина защитного слоя бетона $\alpha = 1$ см. Высота сечения от центра тяжести растянутой арматуры (рабочая высота сечения):

$$h_0 = h - a - d_s/2 = 5 - 1 - 0.8/2 = 3.6 \text{ см},$$

где $d_s=0.8$ см - диаметр арматуры.

Высота сжатой зоны бетона равна:

$$x = R_s A_s / (R_b b) = 225 \cdot 1.51 / (8.5 \cdot 20) = 2.04 \text{ см}.$$

Относительная высота сжатой зоны:

$$\xi = x/h_0 = 2/3.6 = 0.56.$$

Для рассматриваемых условий граничное значение высоты сжатой зоны: $\xi_R=0.652$. Тогда $\xi = 0.56 < \xi_R = 0.652$, следовательно, имеет место I расчетный случай. Момент в сечении:

$$M = R_s A_s (h_0 - 0.5x) = 225 \cdot 1.51 (3.6 - 0.5 \cdot 2.0) = 0.88 \text{ кНм}.$$

В затяжке длиной $l=1$ м максимальный момент M при равномерно распределенной нагрузке q составит:

$$M = ql^2/8 = 0.88 \text{ кНм},$$

отсюда величина предельной равномерно распределенной нагрузки равна:

$$q = 0.88 \cdot 8 / l^2 = 7 \text{ кПа},$$

или с учетом ширины затяжки 0,2 м - 35 кПа.

Расчет на действие поперечной силы Q не производится, если соблюдается условие:

$$Q < k_1 R_{bt} b h_0 = 0.75 \cdot 0.765 \cdot 0.2 \cdot 0.036 = 4.13 \text{ кН},$$

где $k_1=0.6...0.75$, $R_{bt}=0.765$ МПа.

Величина поперечной силы в затяжке на опоре

$$Q = ql/2 = 7/2 = 3.5 \text{ кН}.$$

Поскольку $Q = 3.5 < k_1 R_{bt} b h_0 = 4.13$, условие выполняется, поперечная сила (в виду малой величины) не учитывается.

Эти данные свидетельствуют, что типовая железобетонная затяжка зачастую не соответствует даже податливому режиму работы крепи в благоприятном случае равномерно распределенной нагрузки ($q_3=35 \text{ кПа} < q_a=40 \text{ кПа}$). В то же время, как показывают шахтные наблюдения (см. гл. 2), средневзвешенная надежность междрамных ограждений оказывается выше, чем следует из соотношения несущих способностей затяжки и рамы. Очевидно, что причины такого явления лежат в особенностях взаимодействия элементов системы "крепь-забутовка-массив".

Произведем аналогичный расчет для стальной тонколистовой затяжки (рис. 5.2).

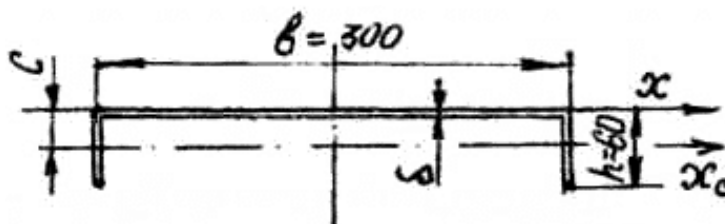


Рис. 5.2 Профиль затяжки ЗСТ

Характеристики сечения профиля:

- площадь поперечного сечения полная:

$$A=0.2(30+6+6)=8.4\text{см}^2,$$

- площадь сечения полки:

$$A_n=0.2\cdot 6=1.2\text{см}^2,$$

- площадь сечения стенки:

$$A_c=0.2\cdot 30=6\text{ см}^2.$$

Расстояние от наружной поверхности стенки до нейтральной оси сечения x_c :

$$c = \sum A_i c_i / \sum A_i,$$
$$c=(6\cdot 0.1 + 2\cdot 1.2\cdot 3)/8.4=0.93\text{ см}$$

Момент инерции сечения относительно оси x_c равен:

$$J' = J'_{\text{ст}} + J'_n,$$

где $J'_{\text{ст}}$ - момент инерции сечения стенки относительно оси x_c ,

J'_n - момент инерции сечений полок относительно оси x_c .

$$J' = J_{\text{СТ}} + A_c a_c^2$$

$$J_{\text{СТ}} = b\sigma^3/12 = 29.6\cdot 0.2^3/12 = 0.02\text{ см}^4;$$

$$a_c = c - \sigma/2 = 0.93 - 0.1 = 0.83$$

$$J'_{\text{СТ}} = 0.02 + 6\cdot 0.83^2 = 4.15\text{ см}^4;$$

$$J'_n = 2(J_n + A_n a_n^2)$$

$$J_n = \sigma n^3/12 = 0.2\cdot 6^3/12 = 3.6\text{ см}^4;$$

$$a_n = 3 - 0.93 = 2.07\text{ см},$$

$$J'_n = 2(3.6 + 1.2 \cdot 2.07^2) = 17.48\text{ см}^4;$$

$$J' = 4.1534 + 17.4838 = 21.64\text{ см}^4.$$

Напряжения в сечении: $\sigma = M_x \cdot y/J_z < R_y$, а допустимый момент $[M_x] = R_y \gamma_c J'/y$,

где R_y - расчетное сопротивление, 285 МПа,

$\gamma_c = 1$ - коэффициент условий работы,

y - расстояние от нейтральной оси до волокна, в котором определяют напряжение ($6 - 0.93 = 5.07\text{ см}$);

$$[M_x] = 285 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 21.6 \cdot 10^{-8} / 0.051 = 1.22 \text{ КН}\cdot\text{м}.$$

Допустимая для затяжки пролетом $l=0.85$ м равномерно распределенная нагрузка:

$$q_b = 8[M_x]/l^2 = 8 \cdot 1.22 / 0.85^2 = 13.5 \text{ кН/м.}$$

Несущая способность затяжки при равномерно распределенной нагрузке и ширине $B=0,3$ м равна:

$$q = \frac{1}{b} \cdot q_b = \frac{1}{0.3} \cdot 13.5 = 45 \text{ кПа.}$$

По сравнению с железобетонной затяжкой несущая способность тонколистовой в упругой стадии увеличивается в $\frac{45}{35} = 1.3$ раза и соответствует работе крепи в податливом режиме, а возможность работы в запредельной стадии (что будет показано ниже) обеспечивает полное соответствие рамам крепи.

Расчет на равномерно распределенную нагрузку является весьма условным. При отсутствии тщательной забутовки закрепного пространства наиболее характерным является нагружение затяжек сосредоточенными (или близкими к ним) силами, что вызывает разрушения межрамных ограждений. По иному нагрузка формируется при передаче усилий через забутовку закрепного пространства, толщина которой составляет 10-30 см и более.

Процесс взаимодействия затяжки со слоем забутовки с целью определения контактных давлений и внутренних усилий в сечениях затяжки может быть описан методом расчета инженерных конструкций на упругом основании [55]. В качестве основной предпосылки принято, что забутовочный материал является квазиоднородной средой (упругим основанием), с модулем деформации E_0 , а затяжка рассматривается как прямолинейный тонкий упругий брус (балка). При этом не учитывается трение между затяжкой и горной породой, а также считается, что упругая линия деформирующейся балки и поверхность породного слоя совпадают.

Конструктивно расчетная схема представлена балкой на упругом основании, нагруженной двумя сосредоточенными силами (от фланцев спецпрофиля крепи) на расстоянии 6...8 см от концов балки. Конструкция и расчетная схема межрамного ограждения приведены на рис. 5.3 и рис.5.4, где L - длина балки (за начало координат принят левый конец балки); l_1, l_2 - расстояние от начала координат по оси балки до сил P_1 и P_2 соответственно; P_1, P_2 - силы, равные сопротивлению рам крепи, передающиеся на затяжку от фланцев спецпрофиля (принято $P_1 = P_2$); x - текущее значение координаты в абсолютном значении.

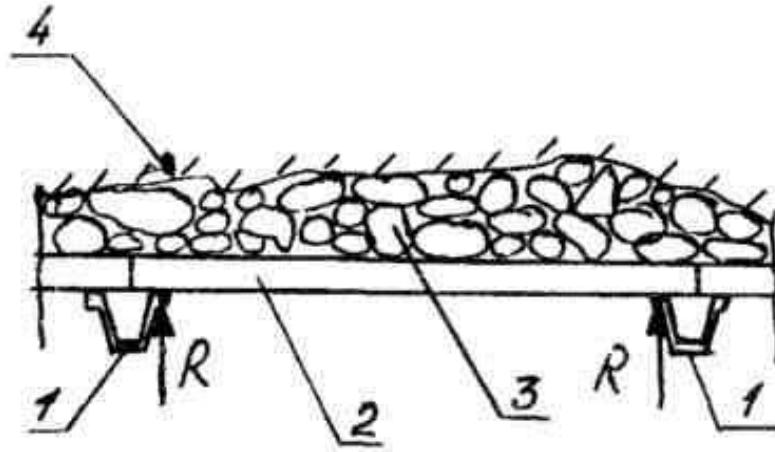


Рис. 5.3 Система «крепь-затяжка-забутовка-массив»: 1 - рамы крепи; 2 - затяжка; 3 - дробленая порода (забутовка); 4 - породный контур; R - реакция крепи

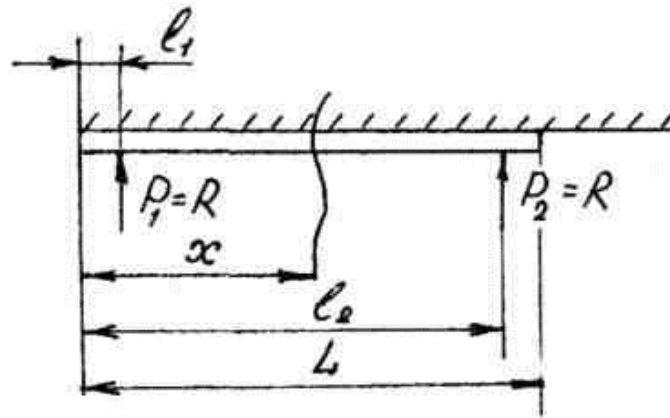


Рис. 5.4 Расчетная схема затяжки как балки на упругом основании

Реактивное давление на балку со стороны упругого основания зависит от жесткости балки EJ , ее длины L , модуля деформации основания E_0 , величины, типа и распределения нагрузки. На основе общего решения по расчету балок на упругом основании, нагруженных сосредоточенными силами [55], получено частное решение для упругой стадии работы затяжки, которое описывает контактное давление на балку P_ξ действующие поперечные силы Q_ξ и изгибающие моменты M_ξ :

$$p_\xi = a_0 + 4a_2(\xi - 0.5)^2, \quad (5.1)$$

$$Q_\xi = \left[\frac{a_0}{2}(2\xi - 1) + P_1/L + 8a_2(\xi - 0.5)^3/3! \right] L - (\Gamma_{l_1} P_1 + \Gamma_{l_2} P_2) \quad (5.2.)$$

$$M_\xi = \left\{ -\frac{a_2}{48} \left[\frac{a_0}{2}(\xi - 1) + \frac{P_1}{L} \right] \xi + 8a_2 \frac{(\xi - 0.5)^4}{4!} - \frac{1}{L} [\Gamma_{l_1} P_1(\xi - \beta_1) + \Gamma_{l_2} P_2(\xi - \beta_2)] \right\} L, \quad (5.3)$$

где для условий $L = 1.0$ м, $\beta_1 = 0.08$, $\beta_2 = 0.92$ получено:

$$a_0 = \frac{(8252 - 34\alpha)^2 + 44.35\alpha}{(13440 + 29\alpha)} \cdot \frac{P_1}{L} \quad (5.4)$$

$$a_2 = \frac{3[(5188 + 63\alpha) \cdot 2 - 44.35\alpha]}{13440 + 29\alpha} \cdot \frac{P_1}{L} \quad (5.5)$$

где ξ - текущее значение координаты "х" в относительных единицах, $\xi = x/L$;

α - показатель жесткости затяжки:

$$\alpha = \frac{\pi E_0 b L^3}{EJ}, \quad (5.6)$$

что для прямоугольного сечения затяжки дает:

$$\alpha = 12\pi \frac{E_0}{E} \left(\frac{L}{h} \right)^3, \quad (5.7)$$

где E_0 - модуль деформации забутовки;

E - модуль упругости затяжки;

L, h, b - длина, высота и ширина балки соответственно;

J - момент инерции балки;

Γ_{li} - односторонний функциональный прерыватель Герсеванова: при $x < l_i$ $\Gamma_{li} = 0$, при $x > l_i$; $\Gamma_{li} = 1$;

β_1, β_2 - расстояние от начала координат по оси балки до сил P_1 и P_2 в относительных единицах соответственно, $\beta_i = l_i / L$, $i=1,2$.

Для реализации математической модели работы затяжки со слоем забутовки необходимо знать значения величины модуля деформации дробленых пород забутовки E_0 , которые были получены на полноразмерном экспериментальном стенде.

В работе [5] дается эмпирическая зависимость влияния на модуль деформации забутовки E_0 различных характеристик забутовки (гранулометрического состава, влажности, объемного веса, предела прочности материала на сжатие, продолжительности действия нагрузки и др.). Однако использовать эту зависимость в расчетной практике затруднительно ввиду сложности определения всех требуемых характеристик забутовки.

Нами была поставлена цель экспериментального определения реального модуля деформации E_0 забутовки и его влияния на несущую способность затяжки. Пределы изменения модуля деформации забутовки E_0 установлены экспериментально путем сжатия забутовки из алевролита и оказались равными от 0.5 МПа до 3 МПа. При этом модуль деформации забутовки определяли по

формуле:

$$E_0 = \sigma_y \cdot h / \Delta \quad (5.8)$$

где σ_y - давление на слой забутовки от пресса, кПа ($25 \leq \sigma_y \leq 45$);

h - толщина забутовки, см ($10 \leq h \leq 20$);

Δ - абсолютная деформация сжатия, см ($0,1 \leq \Delta \leq 0,7$).

Экспериментальные данные по модулю деформации забутовки позволили перейти к определению его влияния на несущую способность затяжки. Показатель жесткости затяжки α определяли согласно (5.6).

Зависимость несущей способности затяжки от модуля деформации забутовки E_0 при предельных величинах нагрузки для затяжки приведена в табл. 5.1 и на рис. 5.5.

Таблица 5.1 Зависимость несущей способности упругой затяжки от модуля деформации забутовки

Показатели	E_0 , МПа				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
α	10.4	20.8	31.2	41.6	52
q , кПа / %	66.7/100	69.3/104	71.3/107	72.7/109	75/112.4

Как следует из приведенных данных, увеличение модуля деформации забутовки ведет к некоторому росту несущей способности жесткой затяжки. При увеличении модуля деформации забутовки E_0 в 4 раза (от 0.5 до 2 МПа) несущая способность затяжки увеличивается на 10%.

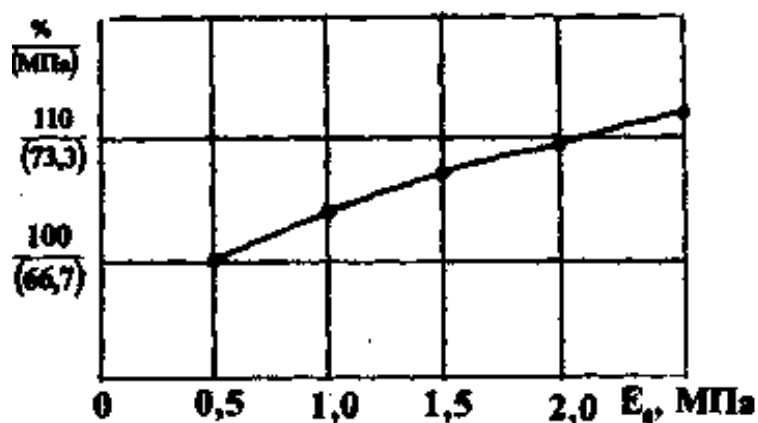


Рис.5.5 График зависимости несущей способности стальной затяжки от модуля деформации забутовки

Таким образом, модуль деформации забутовки в рассмотренных пределах не оказывает существенного влияния на несущую способность затяжки и

поэтому при расчетах был принят равным $E_0=0.5$ МПа.

Для железобетонной затяжки размером 100х20х5 см с арматурой 3Ø8 А1 и из бетона класса В-15 допустимый изгибающий момент равен $[M]=0.88$ кН·м. При шаге установки крепи, равном 1 м и модуле деформации забутовки $E_0=0.5$ МПа давление массива на затяжку p_ξ , величина поперечных сил Q_ξ и изгибающих моментов M_ξ в сечениях описываются выражениями:

$$p_\xi = [1.2 + 9.48(\xi - 0.5)^2] P_l / L, \quad (5.9)$$

$$Q_\xi = [0.6(2\xi - 1) + 1 + 3.16(\xi - 0.5)^3] P_l - (\Gamma_{11}P_1 + \Gamma_{12}P_2) \quad (5.10)$$

$$M_\xi = \{[0.6(2\xi - 1) + 1] - \xi - 0.05 + 0.79(\xi - 0.5)^4 - [\Gamma_{11}(\xi - \beta_1) + \Gamma_{12}(-\beta_2)]\} P_l \quad (5.11)$$

или

$$p_\xi = \overline{p_\xi} P_l / L \quad (5.12)$$

$$Q_\xi = \overline{Q_\xi} P_l \quad (5.13)$$

$$M_\xi = \overline{M_\xi} P_l \quad (5.14)$$

где $\overline{p_\xi}$, $\overline{Q_\xi}$, $\overline{M_\xi}$ - единичные значения давления, поперечных сил и изгибающих моментов.

Величины единичных значений давления, поперечных сил и изгибающих моментов, определенные из выражений (5.12), (5.13), (5.14) приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 Единичные значения давлений, поперечных сил и изгибающих моментов по длине затяжки

ξ	0.0	0.08	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.92	1.0
$\overline{p_\xi}$	3.57	2.87	2.05	1.58	1.29	1.2	1.29	1.58	2.05	2.87	3.57
$\overline{Q_\xi}$	0	0.266 -0.734	-0.445	-0.265	-0.123	0	0.123	0.265	0.445	0.734 -0.266	0
$\overline{M_\xi}$	0	0.01	-0.06	-0.095	-0.114	-0.12	-0.114	-0.095	-0.06	0.01	0

Исходя из максимального значения единичного изгибающего момента по выражению (5.14) следует, что допустимая опорная реакция затяжки равна:

$$P_L = [M] / \overline{M_\xi}_{\max} = 0.88 / 0.12 = 7.3 \text{ кН}.$$

Суммарное давление на затяжку со стороны вмещающего массива составит: $2P_l = 14.6$ кН, а $p = 14.6 / 0.2 = 73$ кПа, где 0.2 - ширина затяжки в м.

Абсолютные значения давлений, поперечных сил и изгибающих моментов при внешнем давлении на затяжку 73 кПа приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 Абсолютные значения давлений, поперечных сил и изгибающих моментов в затяжке

ξ	0.0	0.08	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.92	1.0
P_{ξ} , кН	26.2	21.0	15.0	11.6	9.5	8.8	9.5	11.6	15	21	26.2
Q_{ξ} , кН	0	1.95 -5.38	-3.26	-1.94	-0.90	0	0.90	1.94	3.26	5.38 -1.95	0
M_{ξ} , кНм	0	0.073	-0.44	-0.7	-0.84	-0.88	-0.84	-0.7	-0.44	0.073	0

Эпюры давлений, поперечных сил и изгибающих моментов в затяжке при максимально допустимом внешнем давлении приведены на рис. 5.6. Следует обратить внимание на характер распределения нагрузки по длине затяжки (p_{ξ}): ее снижение в центре пролета и концентрацию на рамах крепи.

Соппротивление рассматриваемой затяжки действию поперечных сил составляет 23.3 кН, что значительно выше фактических значений (см. табл. 5.3).

Таким образом, в случае обеспечения упругого основания, железобетонная затяжка с рассмотренными конструктивными параметрами соответствует прочности рам крепи из профиля СВП, что становится возможным благодаря тщательной забутовке закрепного пространства. Для стальной желобчатой затяжки размером 100x30x6 см из листа $\delta=2$ мм допустимый изгибающий момент равен $[M]=1.22$ кН·м. При шаге установки рам, равном 1 м, и модуле деформации забутовки $E_0=0.5$ МПа величины давлений p_{ξ} , поперечных сил Q_{ξ} и изгибающих моментов M_{ξ} в сечениях описываются выражениями:

$$p_{\xi} = [1.2 + 9.8(\xi-0.5)^2]P_1/2 \quad (5.15)$$

$$Q_{\xi} = \{[0.6(2\xi-1)+1+3.2(\xi-0.5)^3] - (\Gamma_{l_1} + \Gamma_{l_2})\}P_1 \quad (5.16)$$

$$M_{\xi} = \{[0.6(\xi-1)+1]\xi 0.051 + 0.82(\xi-0.5)^4 - [\Gamma_{l_1}(\xi-\beta_1) + \Gamma_{l_2}(\xi-\beta_2)]\}P_1 \quad (5.17)$$

Величины единичных и максимальных значений давления, поперечных сил и изгибающих моментов на затяжке приведены в таблице 5.4, их эпюры представлены на рис. 5.6.

По аналогии с приведенным выше расчетом, опорная реакция затяжки при максимальном изгибающем моменте равна

$$P_1 = 1.22/0.121 = 10.1 \text{ кН},$$

чему соответствует давление на затяжку со стороны вмещающих пород

$$P = 2P_1/b = 2 \cdot 10.1/0.3 = 67 \text{ кПа}$$

где $b=0,3$ м - ширина стальной затяжки.

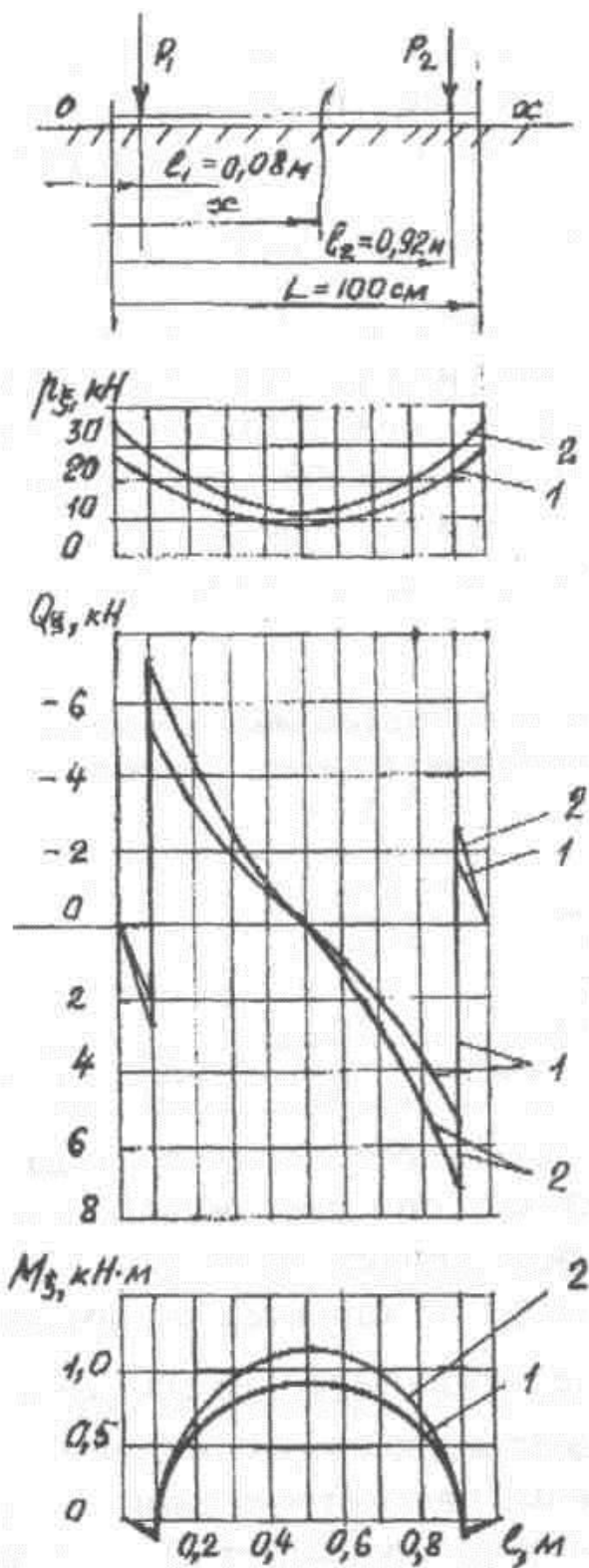


Рис.5.6 Эпюры давлений, поперечных сил и изгибающих моментов при максимально допустимом давлении: 1-железобетонная затяжка; 2-стальная тонколистовая

Таблица 5.4 Величины единичных и абсолютных значений давления, поперечных сил и изгибающих моментов на затяжке ЗСТ

ξ	0.0	0.08	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.92	1.0
$\overline{P}_{\xi}$	3.65	2.92	2.08	1.59	1.3	1.2	1.3	1.59	2.08	2.92	3.65
P_{ξ} , кН	36.5	29.2	20.8	15.9	13	12	13	15.9	20.8	29.2	36.5
$\overline{Q}_{\xi}$	0	0.26 -0.74	-0.45	-0.23	-0.12	0	-0.12	-0.23	-0.45	0.26 -0.74	0
Q_{ξ} , кН	0	2.6 -7.4	-4.5	-2.3	-1.2	0	-1.2	-2.3	-4.5	2.6 -7.4	0
$\overline{M}_{\xi}$	0	0.01	-0.06	-0.096	-0.115	-0.121	-0.115	-0.096	-0.06	0.01	0
M_{ξ} , кН·м	0	0.1	-0.6	-0.96	-1.15	-1.21	-1.15	-0.96	-0.6	0.1	0

Таким образом, прочность рассмотренной стальной затяжки в упругой стадии работы также соответствует прочности рам крепи из профиля СВП в податливом и жестком режиме.

Полученные результаты исследования взаимодействия затяжки с породным массивом отражены в сводной табл. 5.5 и представлены в виде графиков на рис. 5.7.

Таблица 5.5. Значения изгибающих моментов в зависимости от схемы загрузки затяжки (при пролете 0.84 м)

Показатели	Нагрузка		
	сосредоточенная	равномерно распределенная	неравномерно распределенная с концентрацией на опорах
	(1)	(2)	(3)
$M_{\max}$	$qLl/4$	$q(l_2/4-a_2)/2$	$0.06ql$
$M_{\text{он}}$	0	$-qa^2/2$	$-0.005qL$
$M_{\max}/M_3$, %	350	140	100

В таблице использованы следующие обозначения:

$M_{\max}$ - максимальный момент в центре пролета, кН·м;

q - равномерно распределенное давление со стороны вмещающего массива, кН/м;

L - длина затяжки, м;

l - расстояние между опорами затяжки, м;

a - расстояние от конца затяжки до опоры, м.

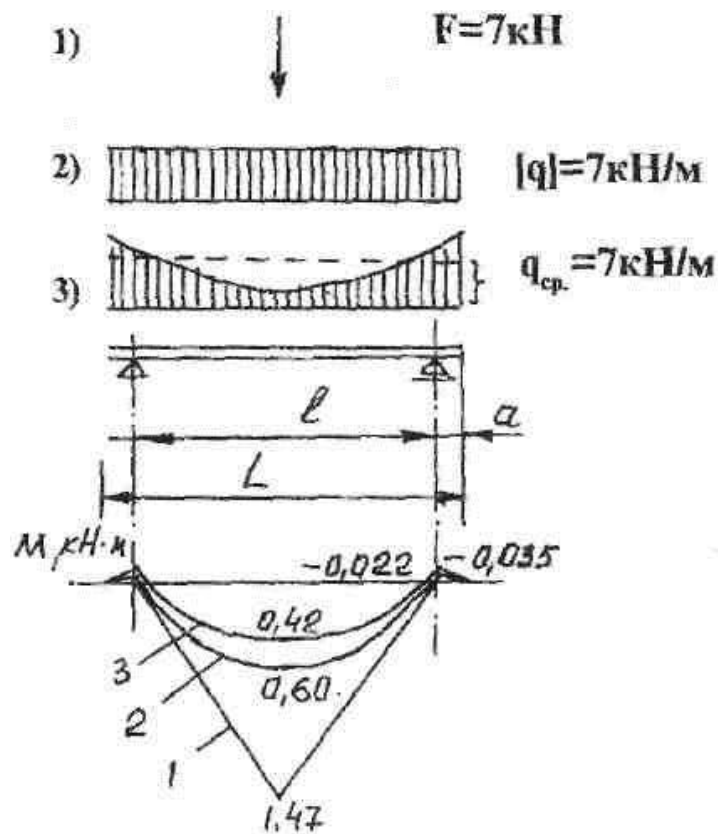


Рис. 5.7. Эпюры изгибающих моментов по длине затяжки при давлении со стороны вмещающего массива 35 кПа в виде:
1 - сосредоточенной силы; 2 - равномерно распределенной;
3 - неравномерно распределенной нагрузки с концентрацией на опорах

После потери жесткости (упругости) под влиянием внешних воздействий стальная затяжка, прогибаясь, начинает работать подобно вантовой конструкции. Для жестких затяжек в запредельной стадии работы характерно появление перелома в средней части пролета и переход к многошарнирной конструкции. Эта запредельная часть работы затяжки может продолжаться без ее вывала в выработку лишь при достаточно жестком защемлении ее концов на фланцах спецпрофиля крепи. Как правило, обеспечить эти условия для железобетонной затяжки невозможно, поэтому ее нельзя рассчитывать на запредельную стадию работы.

Стальные конструкции затяжек, снабженные надежными зацепами с профилем крепи или друг с другом (в решетчатых затяжках) могут надежно работать в запредельной стадии как вантовые конструкции.

Допустимая равномерно распределенная нагрузка на вантовую конструкцию определяется из выражения [56]:

$$q = T_{\max} \cdot 8 f_{\max} / \left[l^2 \sqrt{1 + \left(\frac{4 f_{\max}}{l} \right)^2} \right], \quad (5.18)$$

где $T_{\max}$ - допустимая предельная нагрузка на разрыв ванты, кН;
 $f_{\max}$ - предельная стрела прогиба, м;
 l - расстояние между опорами, м.

Расчетная схема вантовой конструкции приведена на рис. 5.8.

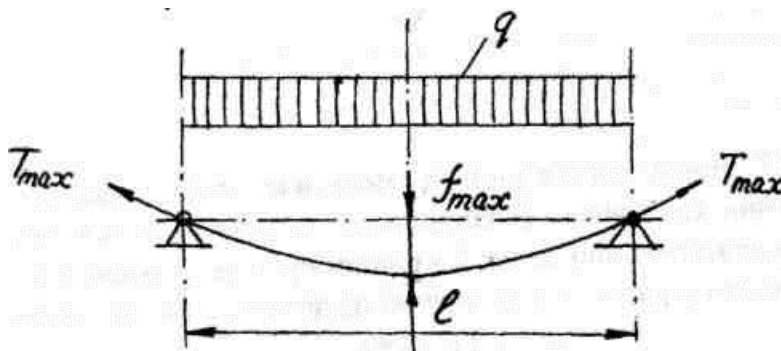


Рис. 5.8 Расчетная схема гибкой затяжки

Полагают, что нагрузка на гибкую затяжку (вантовую конструкцию) передается как равномерно распределенная. Тогда допустимая продольная нагрузка для решетчатой затяжки из прутков 3Ø8А-I составит:

$$T_{\max} = R_y \gamma_c A_s \quad (5.19)$$

где R_y - расчетное сопротивление арматуры, 225 МПа;

γ_c - коэффициент условий работы, 1;

A_s - поперечное сечение арматуры, 1.51 см²;

$T_{\max} = 34$ кН.

При $f_{\max} = 0.1$ м и $l = 0.85$ м, согласно (5.18), допустимая равномерно распределенная нагрузка на решетчатую затяжку равна $q = 34$ кН/М, или 170 кПа, что больше в 1.4 раза допустимого максимального давления на усиленную раму стальной крепи из профиля СВП-33, которое составляет 133 кПа.

Для стальной листовой затяжки с указанными выше параметрами при работе в гибкой стадии со стрелой прогиба 0.1 м продольные усилия составляют:

$$T_{\max} = 285 \cdot 10^6 \cdot 1.0 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 201.1 \text{ кН}$$

где $6 \cdot 10^{-4}$ - площадь полки профиля, м², а допустимое равномерно распределенное давление со стороны массива будет равно:

$$q = \frac{2 \cdot 201.1 \cdot 10^3 \cdot 0.1}{0.85^2 \sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot 0.1}{0.85}\right)^2}} = 201.5 \text{ кН/м}$$

или (с учетом ширины затяжки) $q=201.5-1/0.3=671$ кПа, что гарантирует значительный резерв надежности межрамного ограждения.

Расчет усилий в прогибающейся затяжке может быть произведен и по формуле натяжения циркульной нити:

$$q = T_{\max} \frac{2f}{b^2 + f^2} \quad (5.20)$$

где q - нагрузка, действующая по радиусу;

b - полупролет между опорами;

f - стрела прогиба.

Стендовые испытания гибких затяжек показали правомочность применения этой формулы [57].

Таким образом, исходя из рассмотренных различных расчетных схем взаимодействия затяжки с породным массивом удалось установить, что:

1) при действии сосредоточенной нагрузки несущая способность железобетонной затяжки быстро исчерпывается в середине пролета (под приложенной силой) и не соответствует несущей способности крепежной рамы;

2) если учитывать идеализированную расчетную схему работы затяжки на равномерно распределенную нагрузку, которая является общепринятой, то несущая способность затяжки повышается в 2.4 раза (по сравнению с сосредоточенной нагрузкой), однако реализация такой схемы взаимодействия маловероятна даже в случае тщательной забутовки закрепного пространства (из-за различной жесткости системы на опорах и в пролетной части затяжки);

3) наиболее близкой к действительности оказывается схема взаимодействия затяжки с забутовкой и массивом как балки на упругом основании, когда максимальный изгибающий момент в наиболее опасном сечении снижается в 1.4 раза по сравнению с предыдущим случаем нагружения, благодаря учету перераспределения нагрузки с пролетной части на рамы крепи;

4) анализ работы стальных затяжек в запредельной стадии показывает, что их несущая способность по сравнению с упругой стадией, существенно (в несколько раз) возрастает и дает основание полагать, что экономически целесообразно на наиболее загруженных участках использовать гибкие стальные затяжки, а при применении жестких затяжек - обеспечивать возможность их работы в запредельной стадии (см. гл. 1: шарнирно-податливые и вогнутые железобетонные конструкции). Следует отметить, что возможность такого режима работы осуществима лишь при надежном закреплении прогибающихся затяжек на рамах крепи.

Глава 6

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

При определении несущей способности затяжки, априори считалось, что при наличии забутовки закрепного пространства на затяжку действует равномерно распределенная нагрузка. В работе [5] впервые обращено внимание на то, что это предположение неверно и на самом деле нагрузка на затяжку имеет тенденцию к концентрации на опорах, причем этот эффект проявляется тем больше, чем ниже жесткость затяжки. Аналитические исследования работы затяжки в упругой и запредельной стадиях работы (см. гл. 5) полностью подтвердили эту гипотезу.

С целью экспериментальной проверки расчетных данных и выявления реального характера передачи нагрузки от массива через слой забутовки на затяжку были проведены ее испытания на полноразмерном стенде.

Для проведения лабораторных исследований был разработан стенд для испытания различных конструкций затяжек в натуральную величину. Особенностью стенда являлось воспроизведение реального взаимодействия системы "крепь-затяжка-забутовка" с возможностью создания заданной системы нагрузок со стороны породного контура рычажным устройством и измерением нагрузки на внешней стороне затяжки комплектом датчиков давления. При создании лабораторного стенда особое внимание было обращено на устранение эффектов трения дробленой породы, имитирующей забутовку, о стенки стенда. Кроме измерения нагрузок на затяжку, стенд позволяет определять смещения вдоль всей затяжки по мере ее нагружения. Стенд (рис. 6.1) состоит из стального несущего каркаса, выполненного из уголка 50х50х5, и включает опоры 1 для установки затяжки 5 и рычажное загрузочное устройство 2. Нагрузка от рычага 2 передается на нажимную плиту 3, выполненную из швеллера № 20, через забутовку 4 на затяжку 5. Забутовка 4 располагается над затяжкой 5 в металлическом коробе и смоделирована дробленой породой (алевролитом с максимальным размером кусков до 100 мм и $\sigma_{сж} = 40 - 50$ МПа), слоем, который может иметь высоту до 0.5 м.

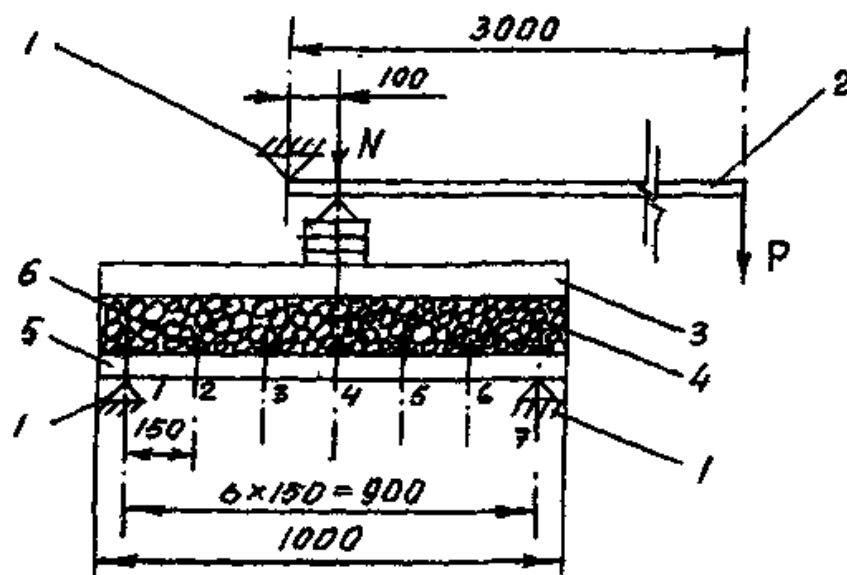


Рис. 6.1 Стенд для исследования взаимодействия затяжки с забутовочным слоем

С целью снижения трения между забутовкой 4 и стенками короба по его длинной стороне установлены металлические пластины скольжения.

Для определения давления на затяжку 5 со стороны загрузочного устройства 2 через слой забутовки 4 на верхней стороне по длине затяжки было установлено 7 датчиков давления 6.

Датчик давления (рис. 6.2) представляет собой три металлических полосы: между двумя неподвижными полосами 3 размещена подвижная полоса 2. Давление на датчик определяется по усилию выдвигания подвижной полосы 2.

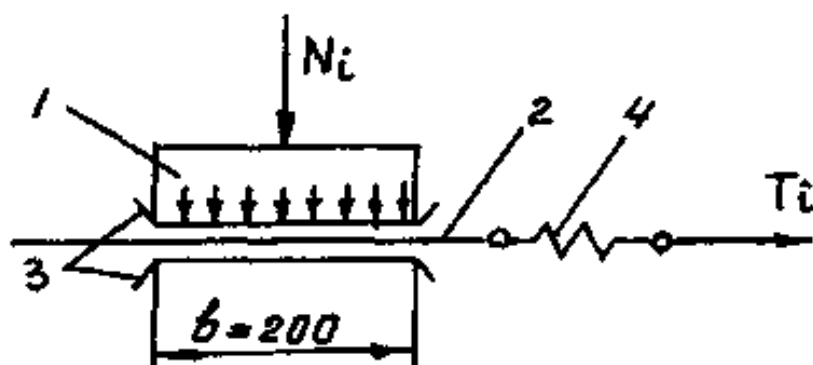


Рис. 6.2 Схема датчика давления

При тарировке датчик ступенчато нагружался контрольными навесками груза 1, а усилие горизонтального перемещения подвижной ленты датчика 2 измерялось пружинным динамометром 4. Каждое измерение повторялось не менее 12 раз, коэффициент вариации при этом составлял от 2.3 до 6%.

При эксперименте по определению давления на затяжку каждое

измерение на датчике при возвратно-поступательном перемещении подвижной ленты повторялось не менее 5 раз. Результаты измерений обработаны методами математической статистики [58]. Давление на затяжку определялось как отношение вертикального усилия на датчике к площади ленты датчика. Модуль деформации забутовки определялся по зависимости (5.8). Напряжения σ вычислялись по формуле:

$$\sigma = N/A, \quad (6.1)$$

где N - усилие, передаваемое на забутовку загрузочным устройством через распределительную плиту, кН;

A - площадь затяжки, м².

Толщина забутовочного слоя и деформации забутовки вычислялись как среднее значение из четырех измерений по углам затяжки. Замеры производились стальной линейкой с точностью до 1 мм.

Испытания были проведены с железобетонной затяжкой размером 100х20х5 см при толщине забутовочного слоя 15 см и пролете 0.9 м. Величина давления, передаваемого забутовкой датчикам на затяжке, при равномерно распределенной нагрузке на забутовку 25 и 35 кПа приведена в табл. 6.1 и представлена графиками на рис. 6.3.

Таблица 6.1 Распределение давления на затяжку, кПа

Нагрузка на забутовку, кПа	№ датчика						
	1	2	3	4	5	6	7
25	35.5	22.7	15.9	13	18.2	29.5	34.5
35	47	36	23.6	18	22.6	35.5	46.3

Из приведенных данных следует, что внешняя равномерно распределенная нагрузка передается на затяжку через забутовочный слой неравномерно, с концентрацией на опорах. В середине пролета давление на затяжку в 2.6-2.8 раза ниже, чем на опорах и приблизительно равно половине численного значения внешней равномерно распределенной нагрузки.

Полученные опытные результаты подтверждают правомерность расчетной схемы затяжки при наличии слоя забутовки, трактуемой ее как балку на упругом основании, нагруженной у концов сосредоточенными силами (опорными реакциями на рамах крепи). Расчетные данные отличаются от экспериментальных не более чем на 10-15% (см. рис. 6.3), что дает основание использовать изложенный в гл. 5 аналитический метод определения внешних и внутренних усилий для обоснования несущей способности затяжек.

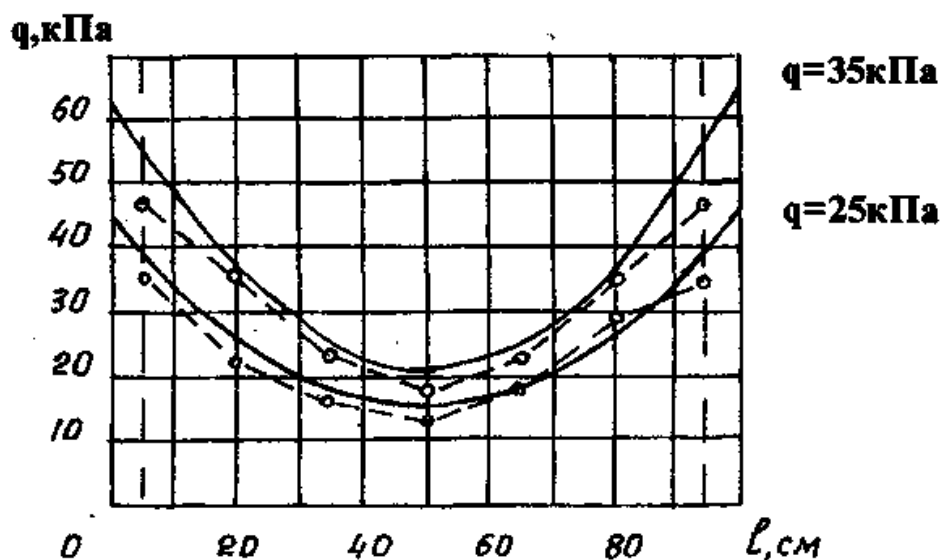


Рис. 6.3 Распределение давления вдоль затяжки при внешней равномерно распределенной нагрузке $q_1=25$ кПа и $q_2=35$ кПа: кспериментальная кривая; - теоретическая кривая

С целью определения фактических значений деформативных и прочностных показателей затяжек и выбора оптимальных размеров стальных тонколистовых конструкций в условиях нагружения сосредоточенными силами были проведены их стендовые испытания.

К числу преимуществ принятой схемы нагружения следует отнести:

1. Нагружение сосредоточенной силой в центре пролета затяжки является самым неблагоприятным из всех возможных.
2. Все типы затяжек независимо от своих деформационных свойств испытываются в идентичных условиях.
3. Такое нагружение часто наблюдается в шахтных условиях, когда контур выработки неровный, а забутовка закрепного пространства некачественна.
4. Простота и доступность проведения испытаний, их хорошая воспроизводимость.

Каждую затяжку опирали на две опоры и нагружали в центре пролета сосредоточенной силой (рис. 6.4), распределенной по ширине затяжки с помощью прокладки 3 в виде металлического бруска сечением 40х60 мм, помещаемого между подвижной плитой прессы и затяжкой 1.

Для испытаний использовался обычный лабораторный гидравлический пресс с предельным усилием сжатия 10 т. Для размещения затяжки было применено опорное устройство, имитирующее опоры концов затяжки на фланцы спецпрофиля. Было изготовлено несколько типов стальных затяжек с различной длиной и высотой полок, которым были присвоены порядковые номера (табл. 6.1).

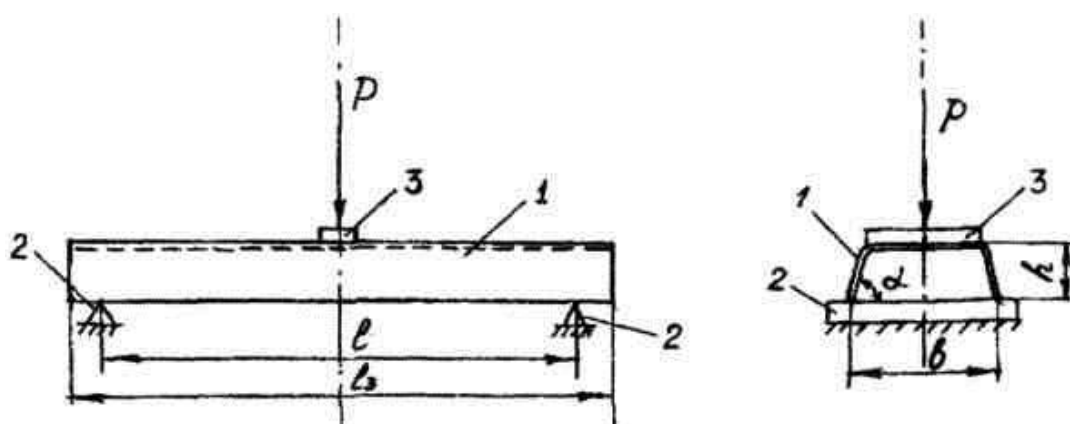


Рис.6.4 Схема испытаний стальной затяжки: 1-затяжка; 2-опоры; 3-прокладка

Таблица 6.1 Геометрические размеры и результаты испытаний стальных затяжек

№ исп	Геометрические размеры				Результаты испытаний			
	пролет, мм	ширина, мм	высота, мм	наклон полки, град	$P_{\max}$, кН	U_* , мм	P_* , кН	$U_{\max}$, мм
1	900	95	20	90	0.6	10°	0.4	110
2	400	95	20	90	2	12	1.9	90
3	900	95	20	70	0.4	15	0.4	105
4	400	95	20	70	2.3	25	2.2	82
5	900	100	43	90	2.7	11	26	68
6	400	100	43	90	7.2	17	5.0	63
7	900	100	40	70	2.4	22	1.5	90
8	400	100	40	70	6.3	18	1.6	67
9	900	200	40	65	2.3	22	1.8	83
10	900	190	80	90	10.8	21	5.5	85
11	400	190	80	90	15	12	13	22
12	900	190	80	70	12	18	7.5	82
13	900	300	64	80	7.5	12	4.5	90
14	900	300	64	90	7.2	18	5	65
15	900	200	45	90	3.2	15	1.5	60
16	400	200	45	90	5.5	12	3.0	50

Затяжки характеризовались следующими геометрическими размерами (см. рис. 6.4): полная длина затяжки l_3 принималась 500 или 1000 мм; высота полки затяжки h изменялась дискретно 20, 40, 60 и 80 мм, иногда с незначительными отклонениями в большую сторону; угол α наклона полки к днищу колебался в пределах 70-90°; ширина полки затяжки b принималась от 95 до 300 мм. Всего было проведено более 30 испытаний различных

модификаций стальных затяжек, причем нагрузка и деформация затяжек в центре пролета постоянно фиксировались. В табл. 6.1 приведены две пары деформационно-силовых показателей: максимальное давление $P_{\max}$ с соответствующей деформацией U_* и максимальная деформация затяжки $U_{\max}$ с соответствующим ей давлением P_* .

В качестве обобщающего показателя, интегрально учитывающего способность затяжки сопротивляться внешнему нагружению, удобно ввести ее работоспособность E_z , которую можно определить как площадь под диаграммой нагружения:

$$E_z = \int_0^{U_{\max}} P \cdot dU, \quad (6.2)$$

где E_z - работоспособность затяжки, Дж;

$U_{\max}$ - максимальная абсолютная деформация затяжки в центре пролета, м;

P - текущее значение действующей на затяжку силы, Н;

U - текущее значение абсолютной деформации затяжки, м.

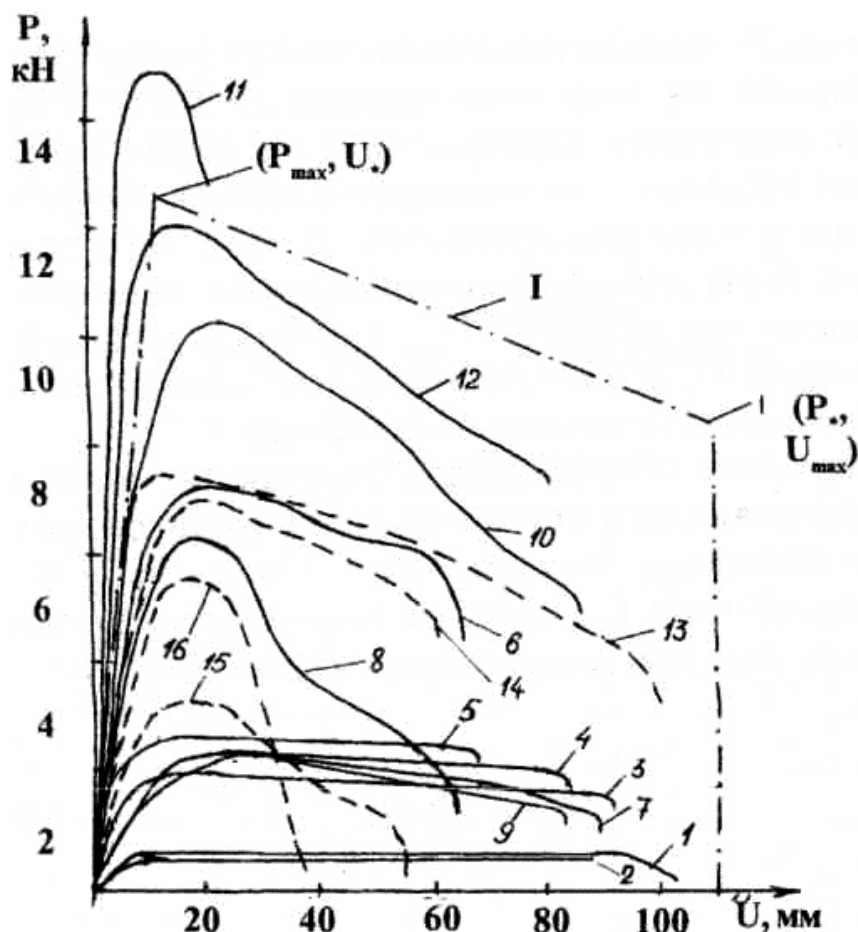
Если использовать идеализированную обобщенную диаграмму I испытаний (рис. 6.5), то по формуле (6.2) с учетом принятых характерных деформационно-силовых показателей, получим:

$$E_z = \int_0^{U_*} P \cdot dU + \int_0^{U_{\max}} P \cdot dU = \frac{1}{2} [P_{\max} \cdot U_* + (P_{\max} + P_*)(U_{\max} - U_*)]$$

Испытания затяжек показали, что наибольшей работоспособностью обладает № 12 ($E_z=732$ Дж), у которой весьма большая высота стенок (80 мм). Однако затяжки такого профиля проявили тенденцию к потере устойчивости стенок и изменению формы в процессе загрузки. Кроме того, затяжки № 12 имеют повышенный расход металла при недостаточной ширине (190 мм).

Наиболее приемлемые результаты показали затяжки № 13 шириной 300 мм и высотой 64 мм. Их работоспособность превысила 513 Дж при максимальной сосредоточенной силе 7.5 кН и деформации в центре пролета свыше 90 мм. Все остальные затяжки дали худшие показатели даже при большем расходе металла на 1 м² ограждаемой площади.

На графиках рис. 6.5 приведены также результаты испытаний типовых железобетонных затяжек пролетом 900 и 400 мм, что соответствует расстоянию между рамами крепи 1000 и 500 мм. Оказалось, что их несущая способность более чем в 2 раза ниже, чем у стальной затяжки типоразмера № 13, а работоспособность равна всего 132 Дж, что более чем в 4 раза ниже работоспособности стальной тонколистовой затяжки ($E_z=513$ Дж).



**Рис. 6.5 Результаты стендовых испытаний шахтных затяжек:
1-14 - диаграммы испытаний стальных затяжек; 15-16 -
плоских железобетонных затяжек; I - идеализированная
диаграмма испытаний**

Как видно из рис. 6.5, идеализированная диаграмма I достаточно хорошо аппроксимирует почти все реальные деформационно-прочностные характеристики затяжек. Это позволяет значительно упростить методику их испытаний при контроле качества в условиях заводского изготовления, показывает правомочность формулы (6.3) для определения их работоспособности с учетом запредельной стадии работы.

Таким образом, результаты испытаний позволяют заключить, что в случае наиболее неблагоприятных сосредоточенных нагрузок, которые формируются на затяжку при отсутствии или некачественном выполнении забутовки закрепного пространства, следует применять стальные конструкции межрамных ограждений. Обладая адаптивными свойствами (гибкость, податливость) они обеспечивают высокую работоспособность конструкции (более 500 Дж) и ее соответствие несущей способности рам крепи.

Глава 7

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Как показали исследования взаимодействия междрамных ограждений с массивом горных пород (см. гл. 4), для оптимизации их конструкции необходимо учесть закономерность распределения активной нагрузки по периметру крепи и обеспечить равные (или близкие к ним) запасы прочности по всей площади междрамного ограждения. Представляется перспективным для подготовительных выработок использовать комбинированные междрамные ограждения с применением стальных листовых (в зоне повышенных нагрузок) и деревянных (на недогруженных участках) затяжек.

В качестве объектов внедрения комбинированных междрамных ограждений были выбраны подготовительные выработки шахты «Полтавская» ПО «Орджоникидзеуголь», находящиеся в сложных горно-геологических условиях, в зоне вредного влияния очистных работ.

Откаточный штрек по пласту Толстый-Восток участка № 41 гор. 363 м проводился буровзрывным способом. Вмещающие породы имеют угол падения 35 - 40° и представлены: угольным пластом мощностью 0.7 - 1 м, кровля и почва пласта - слоистым глинистым сланцем крепостью $f = 5 - 6$. Плотность установки крепи КМП-А3 (СВП-22) - 2 рамы/м, причем, согласно рекомендациям ДонНИИ, применялись сдвоенные арки с междрамным расстоянием 1 м. Площадь сечения в свету 11.2(10.4 м²) Проектный паспорт крепления штрека предусматривал деревянную затяжку (1000x150x20).

Откаточный штрек по пласту Мазурка-Запад участка № 82 гор. 363 м проводился буровзрывным способом. Вмещающие породы расположены под углом падения 30 - 35° и представлены угольным пластом мощностью 1 - 1.15 м, кровля и почва пласта - песчаные сланцы крепостью $f = 5 - 6$. Крепь КМП-А3 (СВП-19 и СВП-22) имела плотность установки 1 рама/м, площадь сечения в свету - 11.2(10.4) м² и 9.2(8.5) м². Согласно паспорту крепления штрека применялась деревянная затяжка (1000 x 150x 20).

Предварительные обследования крепи в указанных выработках выявили крайне неудовлетворительное состояние затяжек, тогда как стальные рамы сохраняли свою работоспособность. Деревянная затяжка была разрушена в кровле и со стороны падения пород, участок по периметру стойки со стороны восстания пород был в удовлетворительном состоянии, что обусловлено значительной неравномерностью распределения нагрузки на крепь при наклонном залегании пластов в зоне влияния очистных работ. При ведении буровзрывных работ наблюдались частые «выбивания» рам, причем потеря их устойчивости сопровождалась деформациями междрамных стяжек, что доказывает их низкую работоспособность.

Целью разработки усовершенствованных паспортов крепления выработок было обеспечение надежной и безопасной их эксплуатации при минимальной

стоимости. В основу разработки паспортов был положен принцип использования сочетания затяжек различных конструкций и свойств. При этом было необходимо одновременно выполнить ряд требований:

- существенно повысить надежность работы межрамного ограждения на наиболее нагруженном участке крепи, а также над проходом для людей;
- обеспечить устойчивость рам крепи при ведении буровзрывных работ;
- снизить стоимость межрамного ограждения с учетом безремонтной эксплуатации выработки.

Для повышения надежности работы межрамного ограждения при одновременном снижении стоимости его эксплуатации необходимо обеспечить соответствие между действующими нагрузками и несущей способностью затяжек по периметру рамы, для чего следует определить размеры и месторасположение на раме наиболее нагруженного участка (см.гл. 4) и использовать там стальные тонколистовые затяжки. На остальной части периметра - разместить дешевые деревянные затяжки. В условиях наклонного падения пород целесообразно устраивать проход для людей со стороны восстания, где вероятность вывалов минимальна. В случае иного проектного решения над проходом для людей также необходимо стальное ограждение.

В качестве элементов комбинированного межрамного ограждения применялись: деревянные (1000 x 150 x 20) и стальные тонколистовые затяжки (см. рис. 1.8) длиной 1000 мм, шириной 300 мм и высотой стенок 60 мм, причем толщина стального листа - 2 мм. Зацепами в виде трапециевидных вырезов на концах стенок затяжка устанавливалась на фланцы спецпрофиля рамы, что удерживало ее при нагружении от соскальзывания в выработку. Зацепы одновременно выполняли функцию удерживания рам в проектном положении при ведении взрывных работ в забое выработки.

Согласно разработанным паспортам крепления подготовительных выработок при наклонном залегании пород в качестве наиболее нагруженных участков приняты: а) верхняк крепи, б) верхняк и криволинейная часть стойки со стороны падения, в) половина верхняка и криволинейная часть стойки со стороны падения. На этих участках стальные затяжки следует чередовать через одну с деревянными, которые обеспечивают лишь ограждающую функцию и снижают расход грузонесущих стальных затяжек. На остальной части периметра крепи можно применять деревянное ограждение. Таким образом, максимальный расход стальных затяжек на раму составит 8 штук для самого тяжелого случая (рис. 7.1).

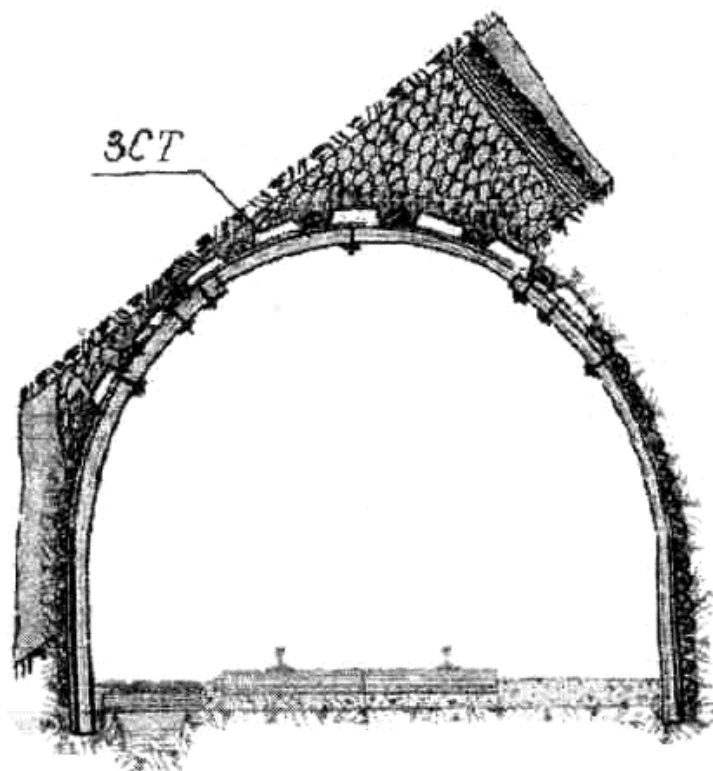


Рис. 7.1 Паспорт крепления штрека с комбинированным междрамным ограждением

Этот паспорт крепления, по согласованию с производителем работ (шахта «Полтавская» ПО «Орджоникидзеуголь») и инспекцией по надзору за охраной труда, был применен на опытных участках. Условием его успешного внедрения был контроль качества крепежных работ: правильного размещения затяжек на раме крепи, установки стальных затяжек зацепами за фланцы профиля, наличия забутовки закрепленного пространства и др.

Методика испытаний комбинированных затяжек включала следующие положения:

1. Оценка соответствия фактических параметров конструкции междрамного ограждения технической документации путем контроля ее размеров и фактического расположения затяжек по периметру рамы. Замеры производили с помощью рулетки ВНИМИ АР-8 и штангенциркуля (погрешность измерений не превышала 1%).

2. Стабильность работы и эксплуатационное состояние затяжек устанавливали путем шахтных визуальных и инструментальных наблюдений за их прогибом внутрь выработки, за раскрытием и изгибом стенок желобчатой конструкции, за надежностью зацепов на фланцах спецпрофиля. Фиксировались сведения об эксплуатационном состоянии непосредственно рам крепи и их податливых соединений. Для сравнительного анализа жесткого и податливого режимов работы междрамных ограждений на трех контрольных рамах опытного участка вблизи узлов податливости одну стальную затяжку заменили двумя обзолными деревянными брусами (1000 x 140 x 80) с несущей

способностью на сосредоточенную нагрузку не менее 20 кН каждый. Наблюдения производили в течение 6 месяцев после возведения крепи.

3. Технологичность работ по монтажу и обслуживанию новых межрамных ограждений производили во взаимной увязке с работами по проведению и эксплуатации выработки путем визуальных и хронометражных наблюдений. Безопасность оценивалась по соответствию состояния выработок требованиям действующих правил техники безопасности в угольных и сланцевых шахтах, нормативным документам инспекции по надзору за охраной труда, требованиям СНиП, которые изложены в проектной документации.

4. Целесообразность комбинирования стальных и деревянных затяжек, варианты такого сочетания оценивали числом отказов деревянных затяжек в комбинированном межрамном ограждении. По надежности его работы можно корректировать паспорта крепления в аналогичных горно-геологических условиях.

5. Рекомендации по внедрению в промышленность и дальнейшему совершенствованию конструкции и технологии монтажа новых межрамных ограждений составлялись на основании анализа технологии работ, выявленных в процессе испытаний преимуществ и недостатков стальных затяжек.

Испытываемая стальная тонколистовая затяжка рамной крепи была установлена на двух опытных участках (рис. 7.2, 7.3): в откаточном штреке по пласту Толстый-Восток участка № 41 гор. 363 м (длина участка 50 м: пикеты ПК 23 - ПК 25) и откаточном штреке по пласту Мазурка-Запад участка № 82 гор. 363 м (протяженность 60 м: ПКЗ - ПК6). Применены оптимизированные паспорта крепления с комбинированным межрамным ограждением (см. рис. 7.1)

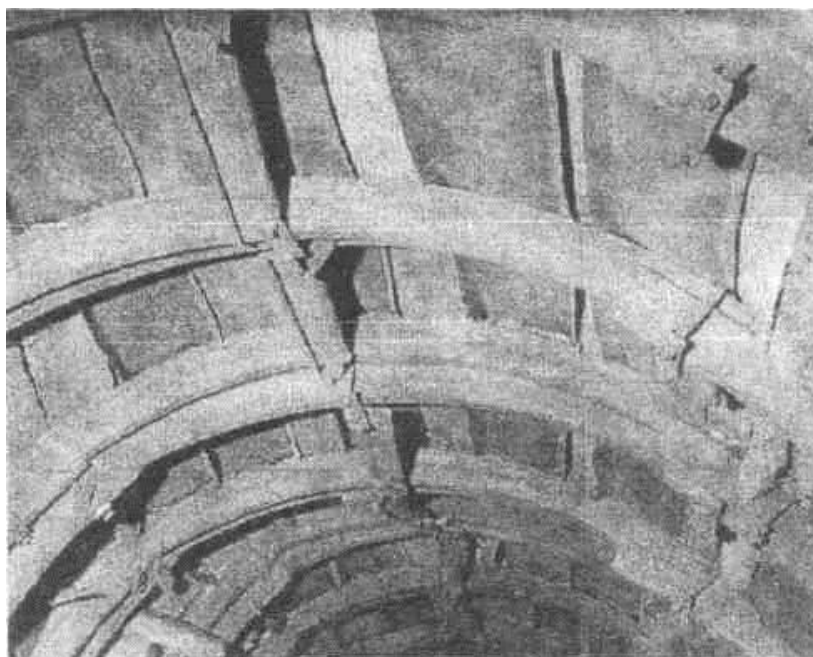


Рис. 7.2 Стальная тонколистовая затяжка в сочетании с усиленной крепью в откаточном штреке по пласту Толстый-Восток участка № 41 гор. 363 м

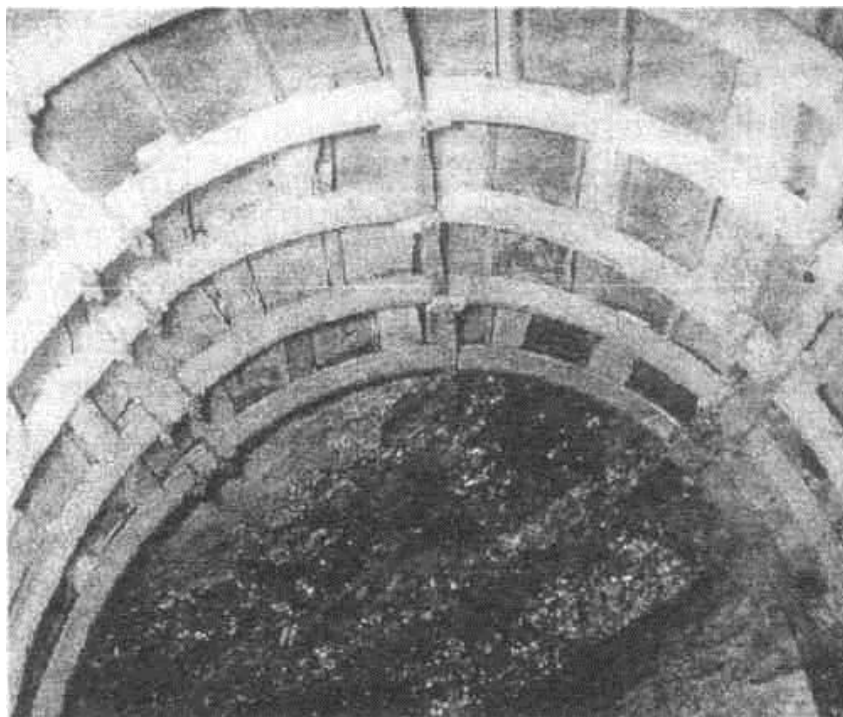


Рис. 7.3 Стальная тонколистовая затяжка в откаточном штреке по пласту Мазурка-Запад участка № 82 гор. 363 м

Шахтные наблюдения проводились в течение шести месяцев и показали следующее [59]. В результате ведения очистных работ стальная арочная крепь на опытных и контрольных (предшествующих опытным) участках была подвержена высокому неравномерному нагружению, наиболее интенсивному по нормали к напластованию пород. Поскольку основное направление смещений пород не соответствовало вертикальной податливости трехзвенной арочной крепи - податливый режим работы арок не был обеспечен. Элементы крепи получили зачительные запредельные деформации и разрушения. На отдельных рамах наблюдались прогибы верхняков, разрывы скоб и планок податливых узлов, днищ спецпрофиля стоек. Это наиболее характерно для условий откаточного штрека выемочного участка №41 гор. 363 м со сдвоенными рамами крепи.

Несмотря на интенсивное проявление горного давления, стальные межрамные ограждения сохранили свою работоспособность. Прогиб затяжек на наиболее нагруженных участках составил (в центре пролета) 50 - 80 мм, что вызвало некоторое (около 30°) раскрытие стенок желобчатой конструкции без разрывных деформаций материала. Отказов стальных затяжек зафиксировано не было. На контрольных рамах деревянные брусья, работающие практически в жестком режиме, были разрушены (рис. 7.4), тогда как расположенные рядом стальные затяжки сохранили свою работоспособность. Это говорит о предпочтительности податливого режима работы межрамных ограждений перед жестким, который даже в случае повышенной прочности затяжки не обеспечивает их надежности.



Рис. 7.4 Хрупкий излом деревянных брусьев на контрольных рамах

Технология монтажа и безопасность работ при креплении и эксплуатации опытных участков соответствовали нормативным требованиям к стальной арочной крепи и техники безопасности, и не вызвали затруднения при крепежных работах.

Состояние деревянных затяжек в промежутках между стальными, а также на участке стойки со стороны восстания пород было удовлетворительным (отказы менее 10%), что подтверждает возможность эффективного применения паспорта крепления с чередованием несущих и ограждающих межрамных ограждений.

Благодаря своим зацепам стальная затяжка ЗСТ с успехом может выполнять функции межрамных стяжек (распорок) по фиксации рам крепи в проектом положении, что подтвердили наблюдения за состоянием крепи после взрывных работ.

Стальные затяжки позволяют размещать рамы (в т.ч. усиленные) на межрамном расстоянии 1 м, что обеспечивает их эффективную работу, тогда как многие типы затяжек требуют повышенной плотности установки рам для обеспечения надежности межрамного ограждения, что ведет к нерациональному использованию материала крепи.

На контрольном участке выработки (предшествующем опытному) деревянная затяжка была разрушена в кровле и со стороны падения пород, что потребовало перезатяжки выработки уже через 4 - 6 месяцев после возведения крепи.

Таким образом, шахтные испытания стальной тонколистовой затяжки подтвердили технологичность ее монтажа, высокую работоспособность, податливый режим взаимодействия с породным массивом, возможность

эффективного сочетания с деревянными и другими затяжками, безопасность эксплуатации выработки. Новые межрамные ограждения могут быть рекомендованы для широкого опытно-промышленного применения в сложных горно-геологических условиях угольных шахт.

Как было показано в гл. 3, объективная оценка экономической эффективности того или иного типа межрамного ограждения может быть получена только с учетом показателей надежности их работы в конкретных горно-технических условиях поддержания выработки. Используя модифицированную методику ФСА, рассмотрим оценки затрат для деревянного и комбинированного (согласно разработанному паспорту крепления, см. рис. 7.1) межрамных ограждений. Для повышения точности анализа экспертные оценки затрат заменим фактическими стоимостями, отнесенными к цене деревянной затяжки.

Поскольку в комбинированном ограждении используется 8 стальных листовых затяжек, а стоимость каждой из них в 4 раза выше деревянной той же площади, общая стоимость 1 погонного метра ограждения возрастает в 1.3-1.5 раза. Стоимость транспортировки и монтажа возрастает незначительно, в среднем в 1.1 -1.2 раза. Проектный срок службы выработок с опытными участками - 3 года, ожидаемые смещения пород на наиболее нагруженных участках - 300-400 мм, что позволяет рассчитать показатели надежности α_1 и α_2 . Показатели затрат и оценки стоимостей приведены для деревянного и комбинированного ограждений в табл. 7.1

Таблица 7.1 Оценки стоимостей сравниваемых вариантов

Тип ограждения	Показатели затрат			$\sum \gamma_i$	α_t	α_σ	K_{yz}	C_i
	Цена γ_1	Стоимость транспортирования γ_2	Стоимость монтажа γ_3					
I. Деревянное	1	0.15	0.15	1.3	1	0.17	5.9	7.7
2. Комбинированное	1.4	0.2	0.2	1.8	1	0.62	1.6	2.9

Следовательно, за счет применения на наиболее нагруженном участке периметра крепи стальных листовых затяжек, удастся избежать больших объемов ремонтов и перекреплений, что снижает общие затраты на крепление и на поддрезание выработки более чем в 2.5 раза (C_1/C_2). Если учесть значительное повышение безопасности выработок и сокращение исков по травматизму из-за падающих кусков породы, то эффективность комбинированного ограждения еще более возрастает, в том числе с точки зрения обеспечения безопасности и охраны труда.

Применение стальных затяжек в кровле выработки позволяет отказаться от стационарных межрамных стяжек (используются лишь временные, которые демонтируются с отступлением от забоя и переносятся на призабойные рамы), что позволяет экономить на каждой раме три стяжки с соединительными

скобами, причем общая устойчивость крепи при этом не снижается.

Таким образом, применение комбинированных межрамных ограждений наиболее соответствует принципу оптимального проектирования конструкций и обеспечивает самые низкие затраты на надежное поддержание выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1.Заславский Ю.З., Мостков В.М. Крепление подземных сооружений. - М.: Недра, 1979. - 325 с.

2.Якоби О. Практика управления горным давлением. - М.: Недра, 1987. - 566 с.

3.Фармер Я. Выработки угольных шахт. - М.: Недра, 1990.-269 с.

4.Ардашев К.А. и др. Опыт охраны и поддержания капитальных и подготовительных выработок на глубоких шахтах ЧССР. Обзор. - М.: ЦНИЭИуголь, 1981. - 33 с.

5.Косков ИЛ". Новые материалы и конструкции крепи горных выработок. - М.: Недра, 1987. -196 с.

6.Гелескул М.Н., Мельников Н.И., Шестернев Е.М. Классификация межрамных ограждений горных выработок. - Проектирование и строительство угольных предприятий, 1971, № 2. - С. 31-32.

7.Заславский И.Ю. и др. Применение затяжек из фосфогипса для крепления горных выработок. - Шахтное строительство, 1989, №5.-С. 20-21.

8.Гаркушин П.Н. Критерии устойчивости горных выработок.-Уголь Украины, 1996, № 10-11. С. 34-36.

9. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нуждихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок. Справочник. - М.: Недра, 1989. - 571 с.

10.Заславский Ю.З., Дружко Б.Б. Новые виды крепи горных выработок. - М.: Недра, 1989.

11.Бурба А.И., Клименко П.Д., Черетянко В Д., Черкасов В.В. Производство железобетонных кесонных затяжек в тресте «Донецкуглестрой». - Шахтное строительство, 1986, № 8. - С. 24-25.

12.Максимов А.П. Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок. - М.: Госгортехиздат, 1963. -144 с.

13.А.С. СССР № 310053, кл.Е 21Д11/32. Шахтная железобетонная затяжка / С.Н.Рева. - Оpubл. 26.VII. 1971, б.и.№ 23.

14.ЛитвинасийГ.Г. Волошин В.Б., Гайко Г.И., Кулдыркаев В.Л. Шахтная затяжка рамной крепи. - Луганск: ЦНТЭИ, 1993 г.

15.ПатентРоссии№2023883,кл.Е21 Д11/15. Шахтная затяжка для рамной крепи / Литвинский Г.Г., Волошин В.Б., Гайко ГЛ., Кулдыркаев В.И., Бушмин А.Н. - Оpubл. 30.11.94. Бюл. № 22.

16.Щербатюк ГЛ. и др. Эффективные средства защиты горнорабочих от падающих кусков при проведении и эксплуатации выработок. - Горный журнал,

1991, №9. - С. 60-62.

17.**Компанец В.Ф.** Межрамные ограждения крепей и средства их поточного производства. - Уголь Украины, 1995, № 7. - С. 20-23.

18.**Казакевич Э.В., Лисковский Н.Г.** Эффективная антикоррозионная защита металлов - актуальная задача шахтостроителей. - Шахтное строительство, 1989, № 2. - С. 5-6.

19.**Малиованов Д.И., Белан Н.А., Тихонюк П.С.** Механизация работ при проведении подготовительных выработок на шахтах ФРГ. Обзор. - М.: ЦНИЭИуголь, 1982. - 28 с.

20.**Гайлер Г.Х.** Методы проходки штреков в германской каменноугольной промышленности. - Глюкауф, 1994, № 2/3. С. 17-20.

21.**Штефан П.К.В.** Анкерная крепь в штреках с высокой конвергенцией. - Глюкауф, 1994, № 1. С. 25-39.

22.**Симш К., Бауэр М., Корт Х., Хунфельд Г., Кельбль Д.** Новые данные по совершенствованию комбинированной системы крепи горизонтальных горных выработок.- Глюкауф, 1993, № 1-2. С.34-41.

23.**Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Малеев Н.В.** Оптимизация межрамных ограждений шахтной крепи. - Уголь Украины, 1998, №10.-С. 9-11.

24.**Пиньковский Г.С.** Резервы повышения эффективности шахтного строительства. - Н.: Недра, 1981. - 303 с.

25.**Костогрыз В.И.** и др. Промышленная проверка экспериментальных образцов перфорированных затяжек крепи. - Уголь Украины, 1995, № 5. - С. 32-33.

26.**Косков И.Г.** Межрамное ограждение из рулонного стеклотканевого материала. - М.: ЦНИЭИуголь, 1972. - 27 с.

27.**А.С. СССР № 1134724, Е 21 D 11/15.** Стеклотканевое межрамное ограждение/И.Г. Косков.-Опубл. 15.01.85, бюл. № 2.

28.**Усан-Подгорнов Б.М., Шестернев Е.М.** Параметры взаимодействия затяжек с вмещающими породами. - Проектирование и строительство угольных предприятий, 1972, № 1. - С. 23-24.

29.**Васильев В.В.** Крепление горных выработок полимерно-композиционными материалами. - Уголь, 1998, № 4. - С. 33-35.

30.**Долинский В.А.** и др. Профильная затяжка для крепления горных выработок рамной крепью. - Уголь Украины, 1972, № 3. -С. 14-16.

31.**Чегельницкий Б.И., Томин СВ., Носов Ю.П.** Техно-экономические характеристики шахтных затяжек. - Подземное и шахтное строительство, 1991, № 8. - С. 22-23.

32. **Картозия Б.А., Ерофеев Л.М.** Основные направления в области совершенствования проектирования крепей горных выработок угольных шахт. - Шахтное строительство, 1987, № 6. С.4-8.

33. **Компанец В.Ф.** Совершенствование сталеи для крепей и защита их от коррозии.-Уголь Украины, 1995, №9.-С. 16-18.

34.**Лисичкин В.Г., Зислин Ю.А., Берлявский Г.П.** Анализ некоторых тенденций применения металлических арочных крепей дм подготовительных

выработок угольных шахт. - Шахтное строительство, 1984, № 1. - С. 8-9.

35. **Литвинский Г.Г., Гайко Г.И.** Прогноз устойчивости стальной арочной крепи. - Уголь Украины, 1993. № 6. - С. 33-36.

36. **Ерофеев Л.М., Мирошникова Л.А.** Повышение надежности крепи горных выработок. - М.: Недра, 1988. - 245 с.

37. **Селезень А.Л., Томасов А.Г., Андрушко В.Ф.** Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов. - М.: Недра, 1977. - 205 с.

38. **Тулуб СБ., Татаршюв А.А., Костогрыз В.И.** Выбор рациональных конструктивных параметров рамных крепей для условий шахт Западного Донбасса. - Науковий вісник НГА України, 1998, №2.-С. 6-8.

39. **Хворостяненко С.Г.** Межрамные ограждения шахтной крепи / В сб.: Строительство шахт, механика и разрушение горных пород. - Алчевск: ДГМИ, 1996. - С. 127-131.

40. **Заславский И.Ю., Компанец В.Ф., Файвишенко А.Г., Кле-щенко В.М.** Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт. - М.: Недра, 1991. - 235 с.

41. **Луганцев Б.Б., Мартыненко И.И., Мартыненко И.А.** О влиянии пустот за крепью на смещения кровли штреков. - Уголь Украины, 1994, № 10. - С. 11-12.

42. **Максимов А.П., Шашенко А.Н., Роечко А.Н.** Влияние качества забутовки на несущую способность металлической арочной крепи. - Шахтное строительство, 1987, № 3. - С. 21-23.

43. **Untersuchung** des Trag - und Verformungsverhaltens von unterschiedlichen Verzugsystem nach technischen und Wirtschaftlichen Gesichtspunkten. - Ruhrkohle AG, Kenn-Nummer 952102, 1991.

44. **Моисеева Н.К., Карпунин М.Г.** Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. - М.: Высшая школа, 1988.-220 с.

45. **Половинкин А.И.** Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.

46. **Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я.** Методы теории вероятностей в геомеханике. - Киев: Технйса, 1994. - 216 с.

47. **Болотин В.В.** Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчете сооружений. - М.: Стройиздат, 1971. - 260 с.

48. **Малеев Н.В.** Функционально-стоимостный анализ межрамных ограждений шахтной крепи/ Сб. науч. трудов ДГМИ № 9. -Алчевск: ДГМИ, 1999. - С. 87-91.

49. **Литвинский Г.Г., Гайко Г.И.** Исследование работы стальной рамной крепи на модели. - Изв. вузов. Горный журнал. -1992, № 7. - С. 35-40.

50. **Литвинский Г.Г., Гайко Г.И.** Стальная арочная усиленная крепь. - Уголь Украины, 1995, №1. - С. 23-24.

51. **Заславский Ю.З., Зорин А.Н., Черняк ИЛ.** Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. - К.: Технйса, 1972. -156 с.

52. **Гольдштейн М.Н.** Механические свойства грунтов. (Напряженно-

деформативные и прочностные характеристики). - М.: Стройиздат, 1979.-304 с.

53. **Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Малеев Н.В.** Закономерности формирования нагрузок на рамные крепи./Сб. науч. трудов НГА Украины № 1: Проблемы и перспективы освоения подземного пространства. - Днепропетровск: РИК НГАУ, 1998. - С. 57-62.

54. **Гелескул М.Н., Каретников В.Н.** Справочник по креплению горных выработок. - М.: Недра, 1982. - 380 с.

55. **Симвулиди И.А.** Расчет инженерных конструкций на упругом основании. - М.: Высш.шк., 1987. - 576 с.

56. **Чирас А.А.** Строительная механика. - М.: Стройиздат, 1989. - 255 с.

57. **Друцко В.П.** Повышение устойчивости горных выработок. -Науковий Вісник НГА України, 1999, № 4. - С. 9-10.

58. **Яноши Л.** Теория и практика обработки результатов измерений. - М.: Мир, 1968. - 271 с.

59. **Гайко Г.И., Малеев Н.В.** Шахтные испытания межрамных ограждений повышенной работоспособности / В сб. Перспективы развития горных технологий в начале третьего тысячелетия. - Алчевск: ДГМИ, 1999. - С. 105-108.

Оглавление

Предисловие	5
Глава 1 Конструктивные решения междрамных ограждений шахтной крепи	6
Глава 2 Анализ эксплуатационного состояния рамных крепей и междрамных ограждений в горных выработках	21
Глава 3 Функционально-стоимостный анализ междрамных ограждений с учетом показателей их надежности	31
Глава 4 Закономерности формирования нагрузки на арочную крепь и затяжку	38
Глава 5 Расчет несущей способности затяжек с учетом их взаимодействия с массивом горных пород	44
Глава 6 Лабораторные исследования работоспособности междрамных ограждений	59
Глава 7 Шахтные испытания комбинированных междрамных ограждений	66
Литература	73

Наукове видання

*Литвинський Гаррі Григорович
Гайко Геннадій Іванович
Малєєв Микола Володимирович
Волошин Віктор Борисович*

Міжрамні огорожі шахтного кріплення

Монографія

(Російською мовою)

Комп'ютерна верстка Н.Б. Трофимової

**Підписано до друку 24.01.2000 р. Формат 84x108¹/₃₂. Папір офсетний № 1.
Друк офсетний. Обл.-вид. арк. 7,9. Замовлення № 042. Тираж 300 прим.
Видавничо-поліграфічний центр Донбаського гірничо-металургійного
інституту 349104, м. Алчевськ, пр. Леніна, 16, кімн. 2113**