



УДК 622.831

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ, ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕПИ С МАССИВОМ ГОРНЫХ ПОРОД

Лисковец А.С.<sup>1</sup>, Тащиенко В.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Сибгеопроект»

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

### Аннотация.

Увеличение глубины разработки и ухудшение горно-геологических условий месторождений полезных ископаемых требуют совершенствования способов крепления горных выработок. При существующем разнообразии крепей наиболее распространенным видом крепи капитальных горных выработок является арочная металлическая с железобетонной затяжкой. Развитие данного способа крепления выработок направлено на достижение полного и малотрудоемкого заполнения закрепного пространства тампонажным раствором. Процесс тампонажа эффективно применяется для различных целей, однако при заполнении закрепного пространства существуют трудности, связанные с невозможностью полностью заполнить пустоты, отвести излишнюю влагу, что снижает эффективность крепления. Существующие методики расчета рамных крепей с тампонажем закрепного пространства не учитывают полностью реальные горно-геологические и горно-технические условия проведения горной выработки, а также процесс образования слоя разупрочненных, частично разрушенных пород между крепью и неразрушенным массивом горных пород. Эффективное крепление горных выработок при подземной разработке месторождений подразумевает совершенствование технологии крепления и методики расчета крепей.

В работе проведен обзор способов крепления выработок в зависимости от назначения, срока службы выработки и физико-механических свойств горных пород. Особое внимание уделено проблемам крепления выработок арочной металлической крепью с железобетонной затяжкой. Показано, что возведение такой крепи должно сопровождаться полным тампонажем закрепного пространства. Сделан анализ способов тампонажа горных пород с указанием трудностей его проведения. Также проведен обзор методов и результатов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород, который показал, что проведение тампонажа закрепного пространства затруднено несовершенством существующих методик расчета крепи при наличии тампонажного слоя.

### Информация о статье

Принята 21 февраля 2021 г.

### Ключевые слова:

крепь, тампонаж, закрепное пространство, подземная разработка месторождений

## ANALYSIS OF SUPPORT AND TAMPING METHODS OF THE BEHIND-ANCHORING SPACE OF MINE WORKINGS AND METHODS FOR CALCULATING THE INTERACTION OF THE SUPPORT WITH THE ROCK MASSIF

Alexander S. Liskovets<sup>1</sup>, Victor P. Tatsienko<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Sibgeoproject LLC

<sup>2</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

#### **Abstract.**

The increase in the depth of development and the deterioration of mining and geological conditions of mineral deposits require the improvement of mine workings support methods. With the existing variety of support, the most widespread type of supporting of capital mine workings is the arch metal support with reinforced concrete pile. The development of this method of mine workings supporting is aimed at achieving complete and low-consumption filling of the behind-anchoring space with grouting mortar. The process of tamping is effectively used for various purposes, but when filling the behind-anchoring space, there are difficulties associated with the inability to completely fill the voids, to remove excessive moisture, which reduces the effectiveness of the fixing. The existing design methods of roof supports with tamping of behind-anchoring space do not take into account real mining-geological and mining-technical conditions of mine working carrying, as well as the formation of softened and partially destroyed rock layers between the support and the undisturbed rock mass. The effective supporting of mine workings in underground mining implies the improvement of the supporting technology and the methodology of support calculation.

The paper reviews the methods of workings supporting depending on the purpose, service life of the working and the physical and mechanical properties of rocks. Particular attention is paid to the problems of mine workings supporting by arch metal support with reinforced concrete backing. It is shown that the construction of such support must be accompanied by a full tamping of the behind-anchoring space. The analysis of rock tamping methods with an indication of the difficulties of tamping is made. A review of the methods and results of calculating the interaction between the support and the rock mass has also been carried out, which showed that the consolidation of the behind-anchoring space is complicated by imperfections in the existing methods of calculating the support in the presence of a tamping layer.

#### **Article info**

Received February 21, 2021

**Keywords:** support, tamping, behind-anchoring space, underground mining of mineral deposits

#### **Введение**

Кузнецкий угольный бассейн является основным поставщиком угля –здесь производится более половины (58%) всего добываемого угля в стране и 73% углей коксующихся марок.

Объём добычи подземным способом в России сохраняется на уровне 104÷105 млн. т. в год. Обострение конкуренции на внутреннем и внешнем рынках приводит к необходимости повышения эффективности подземных способов добычи. В результате сокращения количества очистных забоев, увеличения их длины и концентрации горных работ на пластах с наиболее благоприятными условиями отработки за 5 лет рост производительности очистных забоев лет превысил 48,2% (с 3112 т/сут. в 2012 г. до 4612 т/сут. в 2016 г.) [86]. Интенсификация добычи угля требует своевременного восполнения очистного фронта, то есть, проведения достаточного объема подготовительных горных выработок.

При подземной добыче угля все выработки требуют обязательного крепления. В работе [84] приводится анализ причин потери устойчивости выработок (таблица 1).

Основными причинами являются: низкая прочность пород, нарушенность породных и угольных массивов, неправильный выбор типа и конструкции крепи, ошибочная оценка ее несущей способности, а также нарушения паспорта крепления выработок. При углублении горных работ устойчивость выработок снижается. Так, на глубине расположения до 200 м



существенно деформируется 7,3% всех выработок, на глубине от 200 до 400 – 19,4%, на глубине от 400 до 700 м – 25,8%.

Анализ таблицы показывает, что при глубине разработки от 200 до 400 м 53% случаев опасных деформаций крепи происходят под влиянием очистных работ по собственному пласту, и 24% случаев – под влиянием надработки выработок.

Таблица 1. Доля выработок по протяженности с опасными деформациями и поломками крепи

Основные причины опасных деформаций выработок и поломок крепи	Глубина расположения, м		
	до 200	200-400	400-700
Очень слабые вмещающие горные породы (вне влияния очистных работ)	0,8	1,0	1,1
Геологическая нарушенность породных и угольных массивов	0,2	0,3	0,3
Пучение пород почвы:			
- вне зоны влияния очистных работ	0,2	0,4	0,7
- в зоне влияния очистных работ	0,4	2,7	4,3
Влияние очистных работ по собственному пласту	4,1	10,3	13,2
Влияние надработки	1,6	4,7	6,2
Итого	7,3	19,4	25,8

Среди основных типов крепей следует назвать: анкерную, набрызг-бетонную, бетонную, тубинговую, металлическую рамную и комбинированную, то есть сочетание анкерной крепи с другими.

Современные крепи горные подразделяют [16, 29, 34, 39]:

1) по назначению и виду выработок, где крепь применяют: на крепи капитальных, подготовительных и очистных выработок, крепи горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок, крепи сопряжений и пересечений выработок;

2) по основному (преобладающему) материалу, из которого изготовлена крепь горная: на металлическую, деревянную, каменную, железобетонную, бетонную, полимерную. Выделяют также смешанные крепи горные – изготовленные из двух и более разнородных материалов, без значительного преобладания одного из них (например, рама из деревянных или железобетонных стоек с металлическим верхняком).

3) по рабочей характеристике различают жесткие крепи и податливые крепи;

4) По характеру работы и условиям взаимодействия крепи с окружающим массивом крепи разделяются на ограждающую, изолирующую, упрочняющую, поддерживающую (несущую) и подпорную [2, 41, 90] (таблица 2).

Ограждающие крепи не имеют, как правило, непосредственного контакта с открытой поверхностью пород и предназначены для защиты людей и оборудования от случайных местных вывалов кусков породы. Такие крепи наиболее часто используют в качестве временных передвижных.

Изолирующие крепи (облицовки), предназначенные для защиты растрескивания, иногда теплоизоляции, а также для сглаживания неровностей, обнажений пород в выработках от выветривания, переувлажнения, вымывания, выполняют обычно в виде покрытий из торкрет- и набрызгбетона, полимерных материалов и т.п. Их несущая способность незначительна, но,



благодаря сохранению природных свойств пород в массиве вокруг выработки, изолирующие крепи при современном нанесении могут обеспечить устойчивость горной выработки.

Таблица 2. Классификация крепей по характеру взаимодействия с породами

Тип крепи	Характер взаимодействия с породами	Вид крепи
Изолирующая	Отсутствие закономерных, постоянно действующих нагрузок. Возможны местные (локальные) напряжения, вызванные случайными причинами	Тонкое изолирующее покрытие из набрызгбетона или полимерных смол (эпоксидных, полиэфирных и др.)
Ограждающая	1) Отсутствие закономерных постоянно действующих нагрузок. Нагружение крепи происходит в результате случайных отслоений. 2) Условия «заданных смещений» пород, которые крепь воспринимает без существенного отпора	Набрызгбетон, легкие металлические конструкции, крепь-оболочка, податливая крепь с отпором до 0,1 МПа
Упрочняющая	Упрочнение окружающих выработку пород, обеспечение совместных смещений нарушенных пород	Набрызг-бетон, различные виды анкерной крепи, комбинированная анкерно-набрызг-бетонная
Поддерживающая	Работа в режиме «заданной нагрузки» (отслоение пород, вывалообразование)	Деревянная, металлическая, монолитная и сборная бетонная и железобетонная крепь (жесткая, возводимая сразу после обнажения пород)
Подпорная	Работа в режиме совместного деформирования с массивом («взаимовлияющей деформации»)	Все виды податливой рамной крепи. Бетонные (монолитные и сборные), тубинговые крепи с отпором, достаточным для прекращения смещения пород и становления равновесия в системе «крепь-массив».

Несущие крепи (обделки), условно разделяются на поддерживающие, подпорные, упрочняющие и комбинированные. Крепи по несущей способности можно условно делить на 4 класса: 1 – маломощные (до 10 тс/м<sup>2</sup>), 2 – средние (11-30 тс/м<sup>2</sup>), 3 – мощные (31-100 тс/м<sup>2</sup>), 4 – весьма мощные (более 100 тс/м<sup>2</sup>).

Подпорные крепи весьма материалоемкие и дорогостоящие. Стоимость крепи составляет 30÷60% стоимости выработки, а затраты времени на крепежные работы занимают до 55% трудозатрат.

В настоящее время наибольшее распространение получили анкерные крепи, которые имеют преимущества перед другими видами крепей: низкая трудоёмкость и себестоимость возведения, уменьшение аэродинамического сопротивления (по сравнению с рамной крепью).

Несмотря на широкое распространение анкерного крепления, его самостоятельное применение допускается только в выработках с породами первой категории устойчивости, где



горное давление обуславливает расчетное смещение кровли до 50 мм. В выработках с породами второй, третьей и четвертой категории устойчивости (при расчетных смещениях кровли более 50 мм) следует применять комбинированную крепь, состоящую из анкеров с металлическими подхватками, решетчатой затяжки и подпорной или набрызг-бетонной крепи [96]. Имеются ограничения по применению анкерных крепей при проведении капитальных горных выработок с длительным сроком службы, а также на пластах опасных по самовозгоранию и динамическим явлениям.

Большое разнообразие конструктивных решений стальных рамных крепей и значительный диапазон их рабочих характеристик, позволяют подбирать конструкции для широко круга горно-геологических условий поддерживаемых выработок. Металлические рамные арочные крепи являются универсальным средством крепления горных выработок чаще всего в условиях, когда расчётные смещения вмещающих пород превосходят допустимые для различных видов анкерной крепи (300 мм и более), а также при проведении капитальных горных выработок с длительным сроком службы. При этом для повышения устойчивости, надёжности и снижения стоимости поддержания горных выработок, а также с целью повышения безопасности работ рамная крепь может быть усилена анкерной крепью. В угольной промышленности до настоящего времени основным видом крепи капитальных горных выработок является арочная металлическая рамная с железобетонной затяжкой.

Металлические арочные крепи согласно требованиям ГОСТ Р 51748-2001 [18] классифицируются по следующим признакам:

- количество звеньев - трёхзвенная, четырёхзвенная, пятизвенная;
- сечение крепи - от 7,8 до 20,5 м<sup>2</sup>;
- применяемый прокат - СВП17, СВП19, СВП22, СВП27, СВП33, КГВ21, КГВ26, ПВ22, ПВ27 и ПВ34;
- марка стали - Ст5сп, Ст5пс, 20Г2АФпс.

Вне зависимости от количества элементы арочной крепи (верхняк и криволинейные стойки) соединяют между собой хомутами и планками (рисунок 1). Концы верхняка телескопически входят в стойки. Благодаря такому соединению обеспечивается податливость за счёт скольжения верхняка относительно стоек. Величина вертикальной податливости арки составляет 200÷300 мм и зависит от степени затягивания хомутов. При затягивании хомутов до отказа крепь работает как жёсткая. Рамы устанавливаются в выработке на расстоянии от 0,3 до 1,3 м.

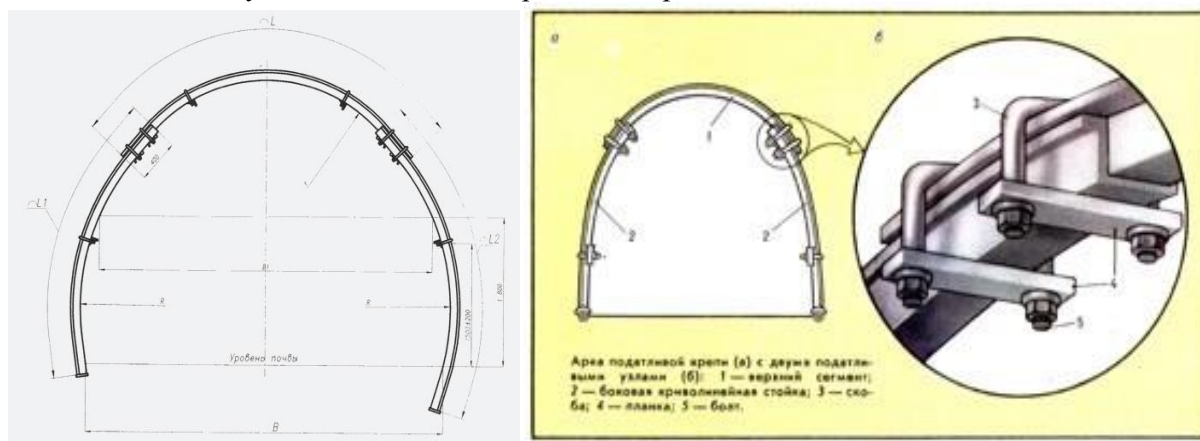


Рис. 1. Арочная крепь

Роль крепи в выработке сводится к предотвращению чрезмерного развития зоны неупругих деформаций и обрушения пород. При достаточно большой жёсткости крепи она работает в режиме заданной (или взаимовлияющей) деформации и горное давление возникает вследствие того, что крепь воспринимает прирост смещений с момента её установки, который зависит от давления.



Для решения проблем оптимальной жёсткости рамной крепи, как основополагающего фактора предупреждения неупругих деформаций и, как следствие, снижения нагрузок на крепь, действующими нормативными документами [25, 80, 81] предусматривается:

- рамную крепь после установки расклинивать, а закрепное пространство тщательно забучивать породой;
- допускаемые отклонения ширины и высоты выработки должны быть в пределах +50 мм, а отметок почвы выработки  $\pm 30$  мм.

На практике указанные требования не выполняются, что подтверждается рядом исследований проведённых в разное время на шахтах России, Германии, Украины [6, 12, 55]. Реальные отклонения сечения составляют 200÷300 мм сверх проектных размеров. Наибольшие из них, как правило, образуются в сводовой части выработки. Объем излишне вынимаемой породы характеризуется коэффициентом переборов, который определяется отношением площади фактического сечения к проектному. Значения коэффициентов переборов, полученные различными организациями [12] в результате обследования выработок и последующего анализа данных представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты переборов породы при проведении горных выработок

Наименование организации	Коэффициент переборов
ВНИИОМШС	1,14-1,2
Московский горный институт, ИГД им. А.А. Скочинского	1,22-1,25
Донецкий политехнический институт	1,16-1,26
Южгипрошахт	1,21-1,28
Средние значения	1,18-1,25

В работе [52] указано, что увеличение закрепного пространства от 100 мм до 420 мм приводит к росту смещений пород кровли в 5,2 раза. В то же время качественная забутовка закрепного пространства уменьшает смещения пород на контуре выработки в 1,5÷4 раза.

Контакт крепи с массивом обеспечивается обычно при помощи клиньев, забиваемых в определённых местах между арками и стенками выработки. Связь остальной части крепи с породами отсутствует. При таком способе распора рам арочной крепи проявляется ряд негативных последствий, среди которых следует выделить:

- ослабление вмещающих пород и неконтролируемый рост неупругих деформаций по периметру выработки;
- образование неравномерных и асимметрических нагрузок по контуру крепи, что приводит к появлению больших изгибающих моментов в элементах конструкций, обуславливающих недопустимые деформации крепи с полной несущей утратой способности.

Не менее важной проблемой является отсутствие подходящего материала для забутовки закрепного пространства, особенно при комбайновом способе проведения, так как в отбитой горной массе практически отсутствует фракция крупнее 50 мм, а при проведении пластовых выработок порода в чистом виде отсутствует.

Промежутки между рамами перекрываются межрамными ограждениями (затяжками), которые являются важным грузонесущим и распределительным элементом шахтных крепей [31, 40]. Надёжность и безопасность горных выработок во многом предопределяются видом и работоспособностью межрамных ограждений (затяжек), которые могут быть: жёсткими (железобетонные конструкции), полуэластичными (стальные, деревянные, полимерные затяжки) и эластичными (металлическая сетка, рулонная стеклоткань и др.). На рисунке 2 приведена классификация межрамных ограждений.



Рис. 2. Классификация межрамных ограждений горных выработок

Межрамное ограждение выполняет грузонесущие и изолирующие функции. Грузонесущая функция состоит в восприятии давления со стороны массива горных пород, передачи его на рамы крепи и предотвращения вывалов породы в выработку. Изолирующая функция осуществляется разнообразными покрытиями и сводится к предотвращению потери прочности и устойчивости пород путем выветривания под действием внешних агентов рудничной атмосферы. Отказы затяжек в выработке приводят к обрушению пород между рамами, потере устойчивости выработки, травматизму подземных рабочих, аварийности на рудничном транспорте и другим негативным последствиям.

На шахтах Кузбасса наибольшее распространение получили:

- различные виды стальной сетчатой затяжки (рулонная и сварная) при креплении выемочных штреков и других выработок с непродолжительным сроком службы;
- железобетонная затяжка при креплении капитальных горных выработок (таблица 4).

Среди главных недостатков перечисленных видов межрамных ограждений необходимо выделить:

- высокий уровень ручного труда при возведении;
- наличие пустот между затяжкой и контуром вмещающих пород;
- наличие взрывоопасных скоплений угольной пыли как на лицевой поверхности затяжки, так и в закрепном пространстве, невозможность проведения эффективных противопылевых мероприятий;
- низкая несущая способность, препятствующая увеличению шага установки крепи.

Кроме этого, использование железобетонной затяжки также обуславливает высокую трудоемкость и стоимость крепления. Расход затяжки при проведении горных выработок весьма высок (до 500 куб. м на 1 км выработки), трудозатраты на доставку и возведение ограждений таких видов составляют до 50% всех затрат на крепление [39].

Так как процесс возведения арочной металлической крепи в настоящее время наименее механизирован, то практика показывает, что в общих затратах труда и времени в проходческом цикле процесс крепления занимает до 60% в зависимости от технологии и средств механизации



горнопроходческих работ. Перетяжка боков и кровли выработок железобетонными затяжками составляет 50% общих затрат на крепление.

Таблица 4. Рекомендуемые типы крепей для шахт Прокопьевско-Киселевского района [45]

Наименование выработок	Рекомендуемые типы крепей
1. Главные откаточные и вентиляционные квершлагги на всем протяжении	А 19-27, А 16-27 с железобетонной затяжкой
2. Полевые конвейерные бремсберги и уклоны, полевые транспортные и вентиляционные штреки для свиты или группы пластов	А 16-27 с железобетонной затяжкой
3. Главные транспортные и вентиляционные штреки для одиночных пластов	А 13-22, А 13-27
4. Конвейерные бремсберги и уклоны, дополнительно оборудованные монорельсовыми дорогами типа ДМК или напочвенными дорогами ДКН	А 13-22, А 13-27
5. Участковые уклоны и бремсберги со сроком службы более 2 лет при ожидаемых смещениях массива более 350 мм, выемочные штреки, проводимые по пластам с неустойчивой кровлей и в нижних слоях при послойной обработке мощных пластов	А 9-17, А 10-17, А 10-22
6. Промежуточные квершлагги с полевых штреков, вскрывающие свиту или группу пластов	А 16-27 с железобетонной затяжкой
7. Полевые штреки для одиночного пласта и квершлагги с этих штреков	А 13-22, А 13-27

#### **Анализ способов тампонажа закрепного пространства горных выработок**

Одним из перспективных способов заполнения пустот за рамной (арочной) крепью и создания межрамного ограждения является тампонаж закрепного пространства.

В «СНиП И-94-80. Подземные горные выработки» [81] даны термины и определения.

3.54. Тампонаж: процесс искусственного заполнения трещин, пустот и пор в горных породах тампонажным раствором (цементными, химическими и др.) с целью повышения их прочности, устойчивости и уменьшения водо- и газопроницаемости.

3.55. Тампонаж закрепного пространства: заполнение пространства между окружающими выработки породы и крепью тампонажным раствором для выбора зазора и гидроизоляции выработки, а также для обеспечения сцепления крепи с боковыми породами.

Таким образом, тампонаж закрепного пространства можно рассматривать как частный случай использования тампонажного раствора между породами и крепью. При обзоре литературы можно встретить другое название этого процесса – «Инъекция грунтов (пород)». Изобрел и начал применять этот метод упрочнения пород француз Берины в 1802 г., благодаря которому и появился термин (французский *tamponnage*, от *tampon* – затычка, пробка). Тампонаж грунтов получил развитие в 1920÷1930 гг., в период развития плотиностроения для предотвращения фильтрации воды под плотинами. Опорным трудом следует считать книгу «Инъекция грунтов» А. Камбефора [27], где он изложил накопившиеся к 1970 г. положения теории и практики ведения тампонажа для уплотнения и упрочнения грунтов.

В СССР метод тампонажа также получил широкое распространение при строительстве ГЭС, крупных зданий, метро и т.п. Развитие этого метода связано с именами А. Н. Адамовича, Д. В. Колтунова, Н. Г. Трупака [1, 93].

История развития тампонажа горных пород в Кузбассе подробно изложена в работе [102]. Эта технология начала развиваться с 1961 г. в научно-исследовательском институте «КузНИИшахтострой» и параллельно в Кузбасском государственном техническом университете.



Начало исследований в Кузбассе по тампонажу горных пород цементацией связано с именами Е.Г. Дуды (зав. лабораторией проходки горных выработок специальными способами института «КузНИИшахтострой») и Б.А. Корецкого (доцента Кузбасского государственного технического университета) [24]. Затем исследования были продолжены доктором техн. наук Ю.В. Бурковым, кандидатом техн. наук Г.И. Комаровым, профессорами В.А. Хмяляйным, А.В. Угляницей, С.М. Простовым, П.С. Сыркиным, Г.С. Франкевичем, В.В. Першиным, кандидатами технических наук Л.П. Понасенко, В.А. Жеребцовым, С.Л. Понасенко, В.М. Удовиченко, В.М. Пампурой, И.А. Поддубным [8, 51, 54, 56, 57, 58, 65, 66, 85, 94, 97, 98, 99, 100].

Вопросы анкер-инъекционного упрочнения горных пород получили развитие в работах доктора техн. наук А.Е. Майорова [42, 43].

Работы Е.Б. Росстального [71, 72, 73] посвящены тампонажу закрепных пустот в горных выработках с рамной крепью и железобетонной затяжкой. Автором в натурных условиях установлены закономерности совместного деформирования системы «крепь – тампонажный слой» – массив» при использовании сборной железобетонной тубинговой крепи. Тампонажный слой по сравнению с забутовкой закрепных пустот породной мелочью увеличивает несущую способность системы «крепь ГТК – тампонажный слой – массив горных пород» в  $1,6 \div 2,5$  раза и, в зависимости от величины коэффициента устойчивости, уменьшает конечные смещения породного контура в  $1,8 \div 2,6$  раза.

На угольных шахтах Украины и Казахстана тампонаж закрепного пространства становится необходимым условием безремонтного поддержания не только капитальных, но и выемочных выработок [21, 49, 82]. В результате тампонажа закрепного пространства появляется дополнительный несущий слой из затвердевшего (уплотнённого) материала, за счёт устранения вредного влияния сосредоточенных нагрузок более рационально используется материал самой металлической крепи, снижается величина изгибающих моментов, более эффективно работают узлы податливости. Крепь работает не на поддержание потерявших устойчивость пород, а в режиме взаимовлияния с окружающим массивом. Отмечается, что несущая способность крепи в этом случае увеличивается в несколько раз. Классификация способов заполнения закрепного пространства приведена на рисунке 3 [82]. Указывается, что при инъекционном укреплении массива пород в окрестностях выработок, смещения контура выработок уменьшаются в  $1,8 \div 2,7$  раза, а в некоторых случаях прекращаются [52]. В работе [48] приводятся результаты натурных экспериментов, доказывающих эффективность полного тампонажа закрепного пространства, а также заполнения сводовой части закрепного пространства, произведенное совместно с анкерным укреплением кровли.

Однако так же, как и в работах Е.Б. Росстального, в качестве опалубки используется железобетонная затяжка, что является узким местом этой технологии, так как требуется не только установить затяжки, но и вручную заделать стыки между ними.

В работах Шапошника Ю.Н. приводится опыт использования инновационных решений при креплении выработок в Казахстане. На Артемьевской шахте ТОО «Востокцветмет» применялась комбинированная крепь, включающая анкерное крепление и торкретбетон в сочетании с металлической сеткой [109]. Авторы указывают, что за счет использования сеток предотвращается опасность вывалов структурных блоков с кровли выработки до момента нанесения торкрет-бетонного слоя, а после его нанесения сетка служит в качестве армирующего элемента, повышающего прочность бетона на растяжение.



Рис. 3. Классификация способов заполнения закрепного пространства твердеющими составами

На Орловской шахте при креплении горных выработок металлической рамной крепью в качестве забутовки пустот закрепного пространства были испытаны вспенивающиеся негорючие материалы (смолы «Блокфил»), что обеспечило отсутствие деформаций элементов рамной металлической крепи и сохранность проводимой горной выработки [108].

В работе [92] представлен обзор изобретений, относящихся к тампонажу горных пород. Интерес представляют разделы «Оборудование для производства инъекционных работ» и «Способы производства инъекционных работ». Известны предложения использовать в качестве опалубки металлические щиты (секции), закрепляемые между рамами крепи, с различными способами крепления. К недостаткам такой крепи относится сложность закрепления опалубочных щитов, постоянство расстояния между рамами металлической крепи и невозможность использовать устанавливаемые вручную опалубочные щиты при больших расстояниях между рамами крепи; высокая стоимость опалубки.

При тампонаже горных пород возникает следующая проблема: тампонажная смесь должна обладать хорошей текучестью, но наличие жидкой фазы в растворе способствует размоканию пород, снижая их прочность и несущую способность, эффективность упрочнения. Для решения этой проблемы необходимо организовать сброс «излишней» воды из системы. В работе [100] предлагается использование дренажных скважин.

Перспективным способом сброса «излишней» воды является использование сеточных, матерчатых материалов.

В 70-х годах XX века в Германии была разработана и успешно внедрена технология Булфлекс возведения арочной крепи с предварительным распором путём установки между рамами крепи и вмещающими породами уплотняющих элементов, которые представляют собой специальный тканевый рукав диаметром 230÷330 мм, заполняемый гидравлическими вяжущими материалами (рис. 4) [11, 50].

Отмечалось [6, 26], что при использовании рукавов Булфлекс:

- несущая способность крепи увеличивалась в 2÷3 раза;
- конвергенция снижалась на 15%;
- коэффициент заполнения пустот при увеличении диаметра рукавов с 230 мм до 330 мм возрастает с 62% до 82%;



- под воздействием вмещающих пород может происходить частичное разрушение материала заполнения, несущая способность арки уменьшается, но остаётся в 2 раза выше, чем при забутовке закрепного пространства породой вручную;
- по сравнению со способом полного тампонажа закрепного пространства значительно сокращается расход цементных смесей;
- снижается трудоёмкость операций связанных с возведением изолирующих оболочек в месте производства работ.

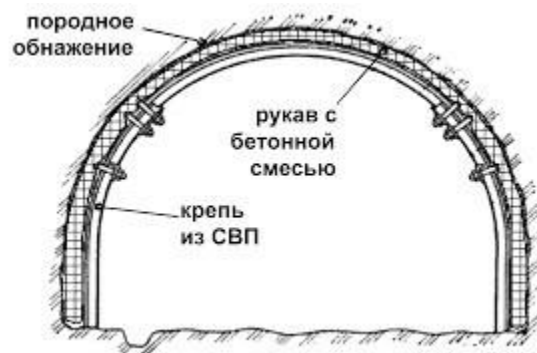
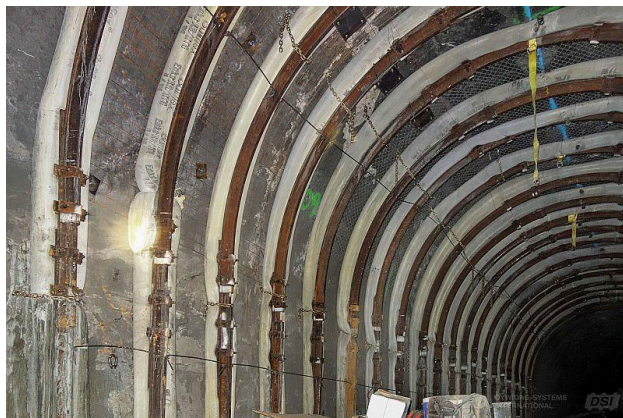


Рис. 4. Конструкция металлической рамной крепи с применением распорного рукава

Данный способ установки арочной крепи с предварительным распором при помощи рукавов «Буллфлекс», успешно применявшийся на шахтах Германии, не лишён недостатков, среди которых следует отметить:

- многооперационность, необходимость применения специального оборудования, сложности реализации технологии и высокая её стоимость;
- полная или частичная потеря контакта рукава с вмещающими породами в случаях значительных пустот над крепью, обусловленных перебором сечения или наличием слабоустойчивых пород.
- необходимость использования межрамных ограждений, конструкция которых не препятствует скоплению угольной пыли и затрудняет ведение противопылевых мероприятий.

Таким образом, технология «Буллфлекс», в отличие от тампонажа закрепного пространства и других способов, основанных на упрочнении горных пород нагнетанием вяжущих составов, не может эффективно применяться в уже дезинтегрированном приконтурном массиве горных пород, при развитой системе трещин. Так как не позволяет в полной мере сдерживать образование и развитие вокруг выработки зон неупругих деформаций и разрушенных пород.

Следующим шагом в развитии этого направления тампонажа стало использование матерчатого материала, фильтрующего жидкую фазу бетона. В полезной модели [62], включающей: металлическую рамную крепь из спецпрофиля, сетчатую затяжку между рамами крепи, слой бетонной крепи в закрепном пространстве, упрощение возведения крепи в сочетании со слоем бетона в закрепном пространстве достигается тем, что между сетчатой затяжкой и слоем бетона расположено фильтрующее жидкую фазу бетона рулонное матерчатое покрытие.

Рулонное матерчатое покрытие на сетчатой затяжке играет роль опалубки при заливании бетона. Избыточное количество воды, придающее подвижность заливаемому твердеющему материалу, отфильтровывается через рулонное матерчатое покрытие в горную выработку.

Однако рассматриваемая технология имеет недостатки:

- 1) трудность обеспечения необходимой ширины и/или высоты твердеющей массы, заполняющей пространство между опалубкой и контуром горной выработки, так как необходимо применение дополнительного заграждения торцевой части опалубки для предотвращения вытекания твердеющей массы;



2) многооперационность возведения горной крепи за счет установки сетчатой затяжки.

Другим направлением совершенствования тампонажных работ является снижение себестоимости тампонажного раствора. В настоящее время широко применяются растворы на основе вяжущего в виде цемента. Для снижения себестоимости тампонажного раствора в работах [102, 103] предлагается заменять цемент отходами углеобогащения.

В последние годы появились новые материалы, оборудование и технологии, позволяющие повысить эффективность управления напряжённо-деформированным состоянием массива путём сочетания очевидных преимуществ ранее описанных способов тампонажа закрепного пространства и технологии «Буллфлекс».

## **Обзор методов и результатов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород**

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород и крепи подготовительных и капитальных выработок является основной проблемой геомеханики при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Такой расчет служит обоснованием параметров систем разработки (выработок, целиков и т.д.) и является основой безопасного ведения горных работ. Несмотря на постоянное развитие этого направления геомеханики, расчет НДС массива горных пород и крепи затруднен различными горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки. Поэтому знание и использование существующих методов и результатов расчета НДС массива горных пород и крепи является необходимым условием работы любого горного инженера.

Решение этой проблемы имеет несколько этапов:

- определение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород для незакрепленной выработки;
- учет влияния крепи на НДС массива горных пород;
- непосредственный расчет крепи (под расчетом крепи в широком смысле понимается определение давления на крепь со стороны горных пород, смещений крепи, оценка устойчивости и несущей способности крепи).

Методы расчета НДС массива горных пород и крепи при проведении подготовительной и капитальной выработки можно разделить на экспериментальные, аналитические, численные и инженерные. Среди экспериментальных методов следует выделить лабораторные и натурные (шахтные) исследования.

Лабораторные исследования, в основном, посвящены определению свойств и физико-механических характеристик горных пород. Натурные исследования геомеханического состояния массива горных пород и крепи посвящены определению напряженного состояния массива горных пород и замерам смещений крепи в выработках.

Результаты экспериментальных исследований представлены в многочисленных работах, обобщены в монографиях Ремезова А.В., Штумпфа Г.Г., Якоби О. [70, 111, 112], нормативных указаниях для выполнения проектных работ [25, 74], а также в учебных пособиях, например, Шаламанова В. А., Першина В.В., Будникова П.М. [10, 107]. Областью применения полученных расчетных формул по нагрузкам на крепь, смещениям крепи и ее несущей способности являются только те горно-геологические и горнотехнические условия, в которых проводились экспериментальные замеры. Стремление учесть все возможные факторы, влияющие на состояние крепи, приводит к появлению эмпирических коэффициентов, число которых доходит до десяти. Приближенное определение эмпирических коэффициентов заметно снижает точность расчетных формул. Так что, чем меньше используется эмпирических коэффициентов, тем точнее расчетные формулы, но в более узкой области их применения.

Аналитические методы геомеханики, прежде всего, использовались для исследования НДС массива горных пород в случае незакрепленной выработки. Получены решения для круговой, эллиптической и полигональной выработки в гидростатическом и негидростатическом поле начальных напряжений. Массив горных пород рассматривался как упругая, упруго-пластическая среда, учитывалось также запредельное состояние горных пород. Аналитические методы исследования также были использованы для решения задач взаимодействия бетонных и рамных



крепей с массивом горных пород. Массив горных пород рассматривался как упругая или упруго-пластическая среда. Это прежде всего результаты, полученные Рупенейтом К.В., Либерманом Ю.М., Булычевым Н.С., Баклашевым И.В., Картозией Б.А., Протосеней А.Г., Господариковым А.П., и другими учеными [4, 5, 7, 17, 36, 69, 75]. Для полигональных выработок большой цикл работ выполнил Курленя М.В., Миренков В.Е. [35]. Здесь следует отметить, что при упругом поведении горных пород наибольшая концентрация напряжений сосредоточена на границе выработки, а зона влияния выработки распространяется в массив горных пород на расстояние  $3 \div 5$  размеров поперечного сечения выработки. Учет пластичности горных пород приводит к появлению пластической зоны в окрестности выработки и удалению максимальных напряжений вглубь массива горных пород. Важное значение имеют работы Линькова А.М. [37], Баклашова И.В., Картозии Б.А., [4], Глушко Б.Г., Виноградова В.В. [13] в которых впервые рассматривалось предельное состояние горных пород при проведении подготовительной выработки. Учет предельного состояния горных пород позволил оценить устойчивость выработки в различных условиях.

Аналитический подход позволяет получить более общие закономерности геомеханического состояния крепи и массива горных пород, и уточнить эмпирические формулы. Аналитическая оценка влияния тампонажа закрепного пространства на напряженно-деформированное состояние массива горных пород выполнена в работе Клыкова А. Е. [32]. Однако давление на крепь заранее задавалось как рабочее сопротивление крепи, которое заранее неизвестно.

В более сложных случаях постановки задач, не поддающихся аналитическим расчетам, применялись численные методы геомеханики, такие как: метод конечных элементов и метод граничных интегральных уравнений. К таким случаям относятся: произвольная форма выработки, учет особенностей конструкции крепи, пространственная постановка задачи. В этих случаях в основном решались задачи в упругой постановке, позволившие выяснить взаимовлияние выработок, и исследовать различные виды крепей.

Расчет крепи выполнялся двумя методами: 1) методом заданных давлений; 2) методом заданных деформаций [44].

По методу заданных давлений давление на крепь определялось по геомеханическому состоянию вмещающих горных пород с привлечением гипотезы об их поведении. Классическим подходом к определению давления на крепь является метод М.М. Протодяконова [67]. В основе этого метода лежит предположение о параболическом своде равновесия нависающих на верхняк горных пород, сохраняющих равновесие. Полученное уравнение параболы было проверено на массиве сыпучих материалов, и оказалось достаточно точным. При решении этой задачи М.М. Протодяконовым введено понятие коэффициента крепости пород  $f$ , который в дальнейшем применялся при расчетах горного давления в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, и используется в инженерных расчетах в настоящее время. Применение формулы М.М. Протодяконова для расчетов давления на крепь подтверждено для глубины проведения выработки до 100 м.

Дальнейшее развитие метода М.М. Протодяконова получило в трудах П.М. Цимбаревича [104, 105], В.Д. Слесарева [79], Н.М. Покровского [63].

Для расчета рамных крепей, не учитывающего их взаимодействие с массивом горных пород, применялись инженерные методы сопротивления материалов. В качестве нагрузок на крепь задавались вертикальные и горизонтальные напряжения в нетронutom массиве горных пород. Инженерный метод расчета крепи основан на знании предполагаемых нагрузок на крепь и дальнейшем использовании расчетных методов сопротивления материалов и строительной механики [33].

В этом случае нагрузка на крепь задается заранее (рисунок 6). В первом приближении вертикальное давление на крепь может быть принято  $\gamma H$ , где  $H$  – глубина проведения выработки,  $\gamma$  – объемный вес пород. Горизонтальные напряжения равны горизонтальной составляющей поля напряжений нетронutom массива горных пород  $\lambda \gamma H$ , где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора. При  $\lambda = 1$  будем иметь гидростатическое поле напряжений. При  $\lambda = \nu/(1-\nu)$  – поле напряжений по гипотезе А.Н. Динника [22, 23], по которой горизонтальные смещения в нетронutom массиве отсутствуют. Здесь  $\nu$  – коэффициент поперечных деформаций горных пород.

Такой подход позволяет получить достаточно точное распределение напряжений в крепи и ее смещений. Однако отсутствие надежных значений распределения давлений на крепь существенно сужает возможности данного метода.

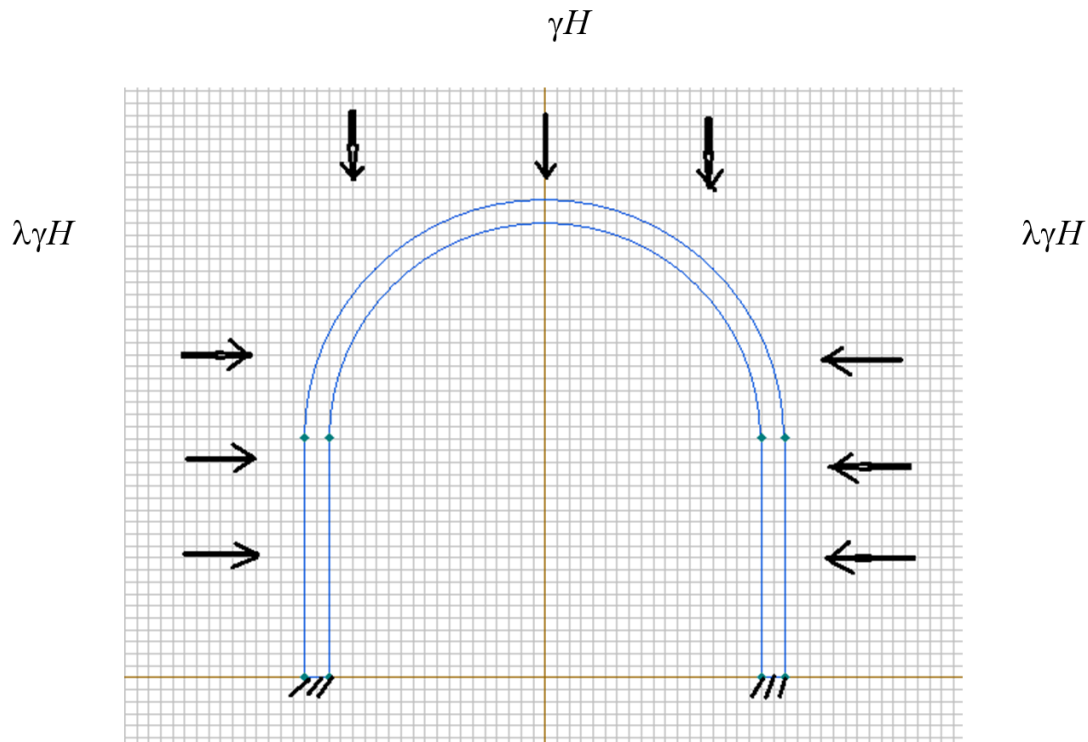


Рис. 6. Схема нагрузок на крепь

Недостатком метода заданных давлений является принятие гипотезы о поведении горных пород без учета взаимодействия крепи с массивом горных пород, то есть без учета деформационных и прочностных характеристик крепи.

Вторым методом расчета крепи является метод совместных давлений и деформаций. В этом методе учитывается взаимовлияния крепи и массива горных пород. Считается, что впервые такую задачу решил А. Лабасс, в решении которой также определялись размеры зоны разгрузки массива горных пород.

Принимая условия предельного равновесия горных пород, К.В. Руппенейт решил задачу о давлении на податливую крепь. Ю.М. Либерманом выполнено обобщение постановки К.В. Руппенейта, в которой он выделил зону пластичности горных пород в окрестности выработки [75]. Большой вклад в решение проблемы расчета крепей капитальных выработок, и прежде всего стволов, внесли ученые тульской школы геомехаников: Н. С. Булычев, Н. Н. Фотиева, С. В. Анциферов, П. В. Деев [3, 7, 15, 20] и др. В рассматриваемом случае рамная крепь входит составной частью в бетонный блок для его укрепления. В работах Саммалы А. С. значительное внимание уделяется расчету многослойной крепи, находящейся в неоднородном массиве горных пород, с использованием математического и компьютерного моделирования [76, 77, 78].

В работах Карасева В. А. [28] для спиральной крепи, Черданцева С.В. [106] для винтовой крепи, Макшанкина Д. В. [45, 47] для крепи широкого профиля исследовалось взаимодействие крепи с массивом горных пород без учета крепления закрепного пространства.

Существующие методики расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) различных оболочек горных выработок в массиве горных пород не учитывают появление слоя частично разрушенных пород. Эти методики предназначены для расчета многослойных крепей в тоннелях, метро, основных квершлагах, стволов с мощным слоем бетона, который не допускает разрушение горных пород в окрестности этих выработок.



При проведении горных выработок в шахтах такой слой бетона не целесообразен по экономическим причинам. Поэтому при определенных горно-геологических и горнотехнических условиях проведения горных выработок массив горных пород претерпевает разрушение, и между тампонажным слоем и неразрушенным массивом горных пород возникает зона частичного разрушения. В этой зоне происходит увеличение объема породы, что, в свою очередь, приводит к увеличению давления на крепь через тампонажный слой. Однако образование слоя разрушенных пород в существующих методиках расчета НДС не учитывается.

Рекомендуемый метод расчета рамной крепи изложен в «Инструкции по выбору рамных податливых крепей горных выработок» [25], утвержденной в 1991 г. Порядок выбора размеров сечений и расчета параметров крепи для конкретной горной выработки следующий:

а) выбирают размеры расчетного поперечного сечения выработки в свету, учитывая требования по различным условиям;

б) приближенно определяют размеры поперечного сечения выработки в проходке с учетом толщины и податливости крепи и толщины забутовочного материала;

в) рассчитывают ожидаемые смещения пород дифференцированно в кровле, боках и почве выработки с учетом влияния геологических и горно-технических факторов;

г) по величине максимальных смещений пород на контуре выработки определяют нормативную и расчётную нагрузки на крепь, выбирают ее тип, конструкцию и с учетом сопротивления рамной крепи рассчитывают плотность установки.

Согласно «Своду правил СП 91.13330.2012 «Подземные горные выработки» [81] смещения, компенсируемые за счет сжатия забутовочного материала, зависят от сжимаемости материала, толщины забутовочного слоя и расчетной нагрузки на крепь и определяются опытным путем. Для забутовочного материала из дробленых пород при отсутствии опытных данных допускается принимать равным 25% толщины забутовочного слоя.

Существующая методика расчета рамной крепи основана на применении значительного количества поправочных коэффициентов, номограмм, опытных данных для учета конкретных горно-геологических и горнотехнических условий.

Таким образом, проблема расчета рамных крепей с тампонажем закрепного пространства в настоящее время не является полностью решенной. В данной работе предлагается комплексный подход к расчету крепи с тампонажем закрепного пространства, учитывающий результаты стендовых испытаний крепей, численное моделирование этих испытаний и аналитические расчеты взаимодействия геомеханической системы «крепь – тампонажный слой – слой нарушенных пород – массив ненарушенных горных пород».

Авторами данной статьи сделана оценка несущей способности крепи с тампонажем закрепного пространства [87, 88, 89, 117, 119].

## **Выводы**

1. В связи с завершающейся отработкой легкодоступных месторождений полезных ископаемых и увеличением глубины ведения горных работ возрастает объем капитальных горных выработок, проводимых в сложных горно-геологических условиях. Увеличение протяженности капитальных горных выработок, проводимых в неустойчивых породах, за последние годы привело к повышению трудоемкости крепления выработок в 3,7 раза и расхода металла в 2 раза.

2. В зависимости от назначения, срока службы выработки и физико-механических свойств горных пород с учетом требований к крепи и крепежным материалам в настоящее время применяют металлические, монолитные, бетонные и железобетонные, набрызг-бетонные и анкерные крепи. В угольной промышленности до настоящего времени основным видом крепи капитальных горных выработок является арочная металлическая рамная с железобетонной затяжкой.

3. Процесс возведения арочной металлической крепи в настоящее время наименее механизирован. Практика показывает, что в общих затратах труда и времени в проходческом цикле процесс крепления занимает до 60% в зависимости от технологии и средств механизации



горнопроходческих работ. Перетяжка боков и кровли выработок железобетонными затяжками составляет 50 % общих затрат на крепление.

4. Конструкции межрамных ограждений, в частности, широко распространенных железобетонных затяжек, весьма несовершенны. Процесс их возведения до сих пор не удается механизировать, поэтому установка межрамного ограждения производится вручную с большими затратами труда. Опыт применения железобетонной затяжки в различных горно-геологических условиях показывает, что ее можно использовать лишь при устойчивых боковых породах. При неустойчивых породах затяжка разрушается, в то время как крепежные рамы остаются в удовлетворительном состоянии. В большей степени этому способствует то, что забутовка закрепного пространства не производится, так как нет на сегодня ни техники, ни технологии по выполнению этой процедуры.

5. С целью обеспечения надежной работы рамных крепей и повышения устойчивости горных выработок в сложных горно-геологических условиях в последние годы все в больших объемах применяется тампонаж закрепного пространства с применением железобетонной затяжки, но это весьма трудоёмкий и длительный процесс, требующий в тщательного пикетажа её зазоров, либо применения специальной сборно-разборной опалубки на период затвердевания тампонажной смеси с последующей её перестановкой.

6. Применение технологии возведения тампонажной крепи также затруднено из-за отсутствия доступной методики расчета параметров рамной крепи с тампонажем закрепного пространства.

### Список источников

1. Адамович А.Н. Цементация оснований гидросооружений / А.Н. Адамович, Д.В. Колтунов // М.: Энергия. – 1964. – 320 с.
2. Аксенов В. В. Обзор существующих типов крепи горных выработок и анализ их возможности применения в геовинчестерной технологии / В.В. Аксенов, А.А. Казанцев, А.А. Дортман // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №S3. – С. 130-137.
3. Анциферов С.В. О расчете обделок тоннелей, сооруженных в массиве грунта, подверженного предварительному укреплению / С.В. Анциферов, Н.Н. Фотиева, Н.С. Булычёв, В.Б. Грибанов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. – №3. – С. 98-107.
4. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия // М.: Студент. – 2012. – 543 с.
5. Баклашов И.В. Прочность незакрепленных горных выработок / И.В. Баклашов, К.В. Руппенейт // М.: Недра. – 1965. – 104 с.
6. Брайт Ф. Заполнение пустот за рамами штрековой крепи методом Буллфлекс // Брайт Ф., Крае Ю. – Глюкауф. – 1980. – № 13. – С.12-17.
7. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений // М.: Недра. – 1982. – 272 с.
8. Бурков Ю. В. Обоснование и разработка технологии крепления капитальных выработок на основе инъекционного упрочнения массивов горных пород: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.15.04, 05.15.11. // Кузбасский НИИ шахтного строительства. – Кемерово, 1998. – 34 с.
9. Войтов М. Д. Исследование и анализ стендовых и приемочных испытаний металлических арочных крепей из СВП / М.Д. Войтов, С.Г. Ващенко, П.М. Будников // Вестник КузГТУ. – 2011. – №6. – С. 21-25.
10. Выбор и расчет крепей и обделок подземных сооружений: учеб. пособие / В. А. Шаламанов, В. В. Першин, П. М. Будников, А. Б. Сабанцев; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 142 с.
11. Галеман В. Практические примеры механизированного заполнения закрепного пространства // Глюкауф. – 1979. – №24.
12. Гамаюнов В. В. О направлении развития технологии сооружения горизонтальных и наклонных горных выработок в сложных горно-геологических условиях / В.В. Гамаюнов, В.П. Друцко и др. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2004. – Вып. 51. – С. 92-102. Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/87309>
13. Глушко Б.Г. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления / Б.Г. Глушко, В.В. Виноградов // М.: Недра. – 1982. – 192 с.



14. Гоголин В.А. Деформационные и прочностные характеристики хрупких горных пород при сжатии // Вестник КузГТУ. – 2016. – №3. – С. 3-7.
15. Головин К.А. Расчет крепей, взаимодействующих со слоем расширяющихся пород / К.А. Головин, Р.А. Ковалев, А.Б. Копылов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – № 4. – С. 174-178.
16. Горная энциклопедия. <http://www.mining-enc.ru/k/krep-gornaya>
17. Господариков А.П. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород при разработке пологих месторождений / А.П. Господариков, М.А. Зацепин // Записки Горного института. – 2010. – Т. 187. – С. 47-54.
18. Государственный стандарт Российской Федерации. Крепи металлические податливые рамные. Методы испытаний. (ГОСТ Р 50910). Госстандарт России. М.:1996. – 12 с.
19. Государственный стандарт СОЮЗА ССР. Профили горячекатаные СВП для крепи горных выработок. Сортамент. (ГОСТ 18662–83). М.:1983. – 3 с.
20. Деев П.В. Влияние величины технологического зазора на напряженное состояние обделок тоннелей / П.В. Деев, А.С. Саммалъ, С.В. Анциферов, Н.В. Шелепов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – №4. – С. 287-293.
21. Демин В.Ф., Яворский В.В., Демина Т.В. Исследование напряжённого состояния приконтурного массива вокруг выемочных выработок в зависимости от влияния горно-технологических факторов. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 196-200. Режим доступа: <https://applied-research.ru/article/view?id=6992>
22. Динник А.Н. О давлении горных пород и расчете крепи круглой шахты // Инженерный работник. –1926. – № 3. – С. 1-12.
23. Динник А.Н., Моргаевский А.В., Савин Г.Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок / В кн.: «Труды совещания по управлению горным давлением», Академиздат, 1938.
24. Дуда Е. Г. Руководство по производству предварительной цементации горных пород при проходке вертикальных стволов шахт глубиной до 400-500 м (временное) / Е. Г. Дуда [и др.]; под общ. ред. Н. Г. Трупака // Кемерово, КузНИИшахтострой. – 1972. – 172 с.
25. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб., Науч.-исслед.ин-т горн. геомех. и маркшейд.дела, 1991.– 125 с.
26. Ирресбергер Х. Успехи техники заполнения закрепного пространства в выемочных штреках // Глюкауф. – 1980. – № 14.
27. Камбефор А. Инъекция грунтов / А. Камбефор; пер. с фр. Р. Б. Казаковой и В. Б. Хейфеца // М.: Энергия. – 1971. – 190 с.
28. Карасев В.А. Разработка и обоснование параметров многосвязной спиральной крепи восстающих горных выработок. Дис. канд. техн. наук: 05.15.02. – Кемерово, 1998. – 128 с.
29. Каретников В. Н. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок / В.Н. Каретников, В.Б. Клейменов, А.Г. Нуждихин // Справочник. – М.: Недра, 1989. – 571 с.
30. Карпов А. В. Повышение технологичности крепления и эксплуатационной надежности подготовительных выработок при интенсивной отработке запасов угля: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22 / Моск. гос. гор. ун-т. – Москва, 2005. – 19 с.
31. Касьян Н. Н. О роли межрамных ограждений в механизме формирования нагрузки на крепь / Н. Н. Касьян, А. О. Новиков, В. Л. Самойлов, Ю. А. Петренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 4. – С. 173-174.
32. Клыков А. Е. Дилатансия горных пород и смещения в выработке в зависимости от состояния закрепного пространства // Форум гірників – 2013: матеріали міжнар. конф., 2-5 жовтня 2013 р. – Дніпропетровськ, 2013. – Т.2. – С. 264-271.
33. Кондратенко В.Е. Строительная механика. Расчет рамной трапецевидной крепи методом перемещений [Электронный ресурс] / В.Е. Кондратенко, В.В. Девятярова, А.А. Герасимова – М.: МИСиС, 2017. – 17 с. Режим доступа: [http://www.studentlibrary.ru/book/misis\\_0017.html](http://www.studentlibrary.ru/book/misis_0017.html)
34. Косков И.Л. Новые материалы и конструкции крепи горных выработок // М.: Недра. – 1987. – 196 с.
35. Курленя М.В. Методы математического моделирования подземных сооружений / М.В. Курленя, В.Е. Миренков // Новосибирск, Наука. – 1994. – 187 с.
36. Либерман Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок. – М.: Наука, 1969. – 119 с.
37. Линьков А.М. Учет запредельных деформаций в плоской задаче о круглой выработке //ФТПРПИ. – 1977. – №5. – С. 16-22.
38. Лисковец А.С. Направления развития и совершенствования тампонажной крепи / А.С. Лисковец, В.П. Тащиенко, А.А. Мешков // Горная промышленность. – 2020. – № 2 (150). – С. 88–93.
39. Литвинский Г. Г. Стальные рамные крепи горных выработок / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев // Киев: Техника. – 1999. – 216 с.



40. Литвинский Г.Г. Межрамные ограждения шахтной крепи / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.В. Малеев, В.Б. Волошин // Алчевск. – 2000. – 84 с.
41. Лукьянов В. Г. Технология проведения горно-разведочных выработок: учебник для академического бакалавриата / В.Г. Лукьянов, А.В. Панкратов, В.А. Шмурыгин // М.: Изд-во Юрайт. – 2016. – 549 с.
42. Майоров А. Е. Консолидирующее крепление горных выработок/ А. Е. Майоров, В. А. Хмяляйнен // Новосибирск: СО РАН. – 2009. – 258 с.
43. Майоров А.Е. Обоснование и разработка технологии анкер-инъекционного крепления капитальных выработок с использованием цементных растворов и сыпучего заполнителя: автореферат дис. ... доктора технических наук: 25.00.22. – Кемерово, 2012. – 42 с.
44. Максимов А.П. Горное давление и крепь выработок // М.: Недра. – 1973. – 287 с.
45. Макшанкин Д. Н. Обоснование крепления горных выработок металлической крепью из шахтного профиля: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22. – Кемерово, 2012. – 19 с.
46. Макшанкин Д.Н. Возможность моделирования стендовых испытаний арочных крепей/ Д.Н. Макшанкин, А.В. Ремезов, В.А. Гоголин // Вестник КузГТУ. – 2009. – №3. – С. 50-56.
47. Макшанкин Д.Н. Обоснование применения арочной крепи с профилем ШП на шахтах Кузбасса / Д.Н. Макшанкин, А.В. Ремезов, В.А. Гоголин, И.А. Ермакова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 5 (87). – С. 51-53.
48. Мартыненко И.И. Влияние тампонажа закрепного пространства на повышение устойчивости горных выработок / И.И. Мартыненко, Ж.А. Минакова, И.А. Голубева, И.Н. Шиповская // Уголь Украины. – 1987. – № 12. – С. 3-4.
49. Мартыненко И.И. Новые способы крепления выемочных выработок, основанных на использовании традиционно применяемых серийных крепей / И.И. Мартыненко [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №7. – С. 226-230.
50. Маттен В. Заполнение закрепного пространства штреков природным ангидритом // В. Маттен, И. Зеегер, Х. Цильэссен. – Глюкауф. – 1980. – № 14. – С. 15-20.
51. Методические указания по технологии контролируемого тампонажа закрепных пустот вокруг капитальных горных выработок угольных шахт / сост. Г. С. Франкевич [и др.] // Кузниишахтострой; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово. – 2007. – 68 с.
52. Мусиенко С.П. Некоторые аспекты применения тампонажа при возведении геокомпозитных охранных систем горных выработок / С.П. Мусиенко, С.А. Кучеренко, С.Д. Гребенюк // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. – Вып. 83. – С. 122-130.
53. Николаенко Н.Н. Аналитические исследования несущей способности крепей различных конструкций // Известия вузов. Горный журнал. – 1980. – №3. – С.24–25.
54. Никулин Н. Ю. Контроль геомеханических процессов в грунтовом массиве при высоконапорной инъекции цементных растворов / Н. Ю. Никулин, С. М. Простов, В. А. Хмяляйнен // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 85-90.
55. Павлов Е.Е. Анализ негативных последствий переборов при проходке горных выработок. <http://masters.donntu.org/2012/igg/chuchkos/library/article7.htm>
56. Пампура В.М. Обоснование параметров технологии тампонажа неоднородных по проницаемости горных пород вокруг капитальных выработок: дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.22 / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2001. – 141 с.
57. Панасенко Л. П. Обоснование и разработка технологии комбинированного тампонажа обрушенных горных пород при строительстве капитальных выработок: автореферат дис.... кандидата техн. наук: 05.15.11. – Кемерово, 1999. – 18 с.
58. Панасенко С. Л. Обоснование и разработка технологии возведения тампонажно-дренажных завес вокруг горных выработок: автореферат дис.... кандидата техн. наук: 25.00.22. – Кемерово, 2002. – 21 с.
59. Патент № 136090 Российская Федерация, МПК E21D 21/00 (2006.01). Инвентарная опалубка для заполнения твердеющей смесью пространства за крепью: № 2013136429/03: заявл. 2013.08.02: опубл. 2013.12.27 / Копытов А. И., Войтов М. Д. – 4 с:ил.
60. Патент №175401 Российская Федерация, МПК E21D 11/10 (2006.01), E21D 5/11 (2006.01). Крепь горной выработки: № 2017109467: заявл. 21.03.2017: опубл. 04.12.2017 / Тациенко В. П., Мешков А. А., Лисковец А. С., Харитонов И. Л., Волков М. А. – 3 с.: ил.
61. Патент №2702308 Российская Федерация, СПК E21D 11/10 (2019.05). Опалубка для крепления горной выработки: № 2019103755: заявл. 11.02.2019: опубл. 07.10.2019 / Тациенко В.П., Лисковец А.С., Черепанова Л.В., Мешков А.А., Черданцев А.М. – 8 с.:ил.



62. Патент №69156 Российская Федерация, МПК E21D 11/00(2006.01). Крепь горной выработки: № 2007128403/22: заявл. 2007.07.23: опубл. 2007.12.10 / Тацienко В. П., Бурков Ю. В., Понасенко Л. П., Понасенко С. Л. – 4 с.:ил.
63. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. Часть 1 // М.: Недра. – 1977. – 400с.
64. Практикум по эконометрике: Учеб. пособие / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Н.М. Гордиенко и др.; Под ред. И.И. Елисеевой // М.: Финансы и статистика. – 2001. – 192 с.
65. Простов С. М. Определение безопасных параметров установки при электрохимическом укреплении обводненных грунтов / С. М. Простов, М. В. Гуцал, В. А. Хямяляйнен // Вестник КузГТУ. – 2001. – № 6. – С. 35-38.
66. Простов С. М. Оценка возможности управления состоянием удароопасных массивов инъекционным упрочнением зоны трещиноватости / С. М. Простов, В. А. Хямяляйнен // Вестник КузГТУ. – 1998. – № 3. – С. 7-10.
67. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. –М.: Гостехиздат, 1931.– 153 с.
68. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление / Государственное научно-техническое горное издательство, 1931. – 104 с.
69. Протосеня А.Г. Механика подземных сооружений. Учебное пособие / А.Г. Протосеня, М.А. Карасев // Санкт-Петербург: Горный университет. – 2013. – 113 с.
70. Ремезов А. В. Основные виды крепления горных выработок и методика расчета технических параметров / А. В. Ремезов, В.Г. Харитонов, Д.Н. Макшанкин, А.Ф. Брынько, В.В. Ермак // Кемерово: Кузбассвуиздат. – 2007. – 306 с.
71. Росстальной Е. Б. Совершенствование технологии тампонажа закрепных пустот капитальных выработок угольных шахт: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.22. – Кемерово, 2008. – 18 с.
72. Росстальной Е.Б. Лабораторные исследования влияния тампонажа закрепного пространства на несущую способность крепей методом эквивалентных материалов / Е.Б. Росстальной // Вестник КузГТУ. – 2006. – №6.2. – С. 47-49.
73. Росстальной Е.Б. Тампонаж закрепного пространства при проведении и поддержании горных выработок // Вестник КузГТУ. – 2007. – №1. – С. 22-23.
74. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчёту крепи. ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат. – 1983. – 272 с.
75. Руппенейт К.В. Введение в механику горных пород / К.В. Руппенейт, Ю.М. Либерман // М.: Госгортехиздат. – 1960. – 366 с.
76. Саммаль А.С. Математическое и компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива, сложенного двумя типами пород, в окрестности напорной круговой выработки / А.С. Саммаль, С.В. Анциферов, Н.С. Павлова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2018. – № 7. – С. 37-44.
77. Саммаль А.С. Математическое моделирование взаимодействия многослойных обделок параллельных некруговых подводных тоннелей с технологически неоднородным массивом пород / А.С. Саммаль, И.Ю. Воронина, Н.В. Шелепов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 154-163.
78. Саммаль А.С. Определение области применения бетонной крепи стволов в зонах тектонических нарушений / Саммаль А.С., Сергеев С.В., Анциферов С.В., Деев П.В. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 4. – С. 317-326.
79. Слесарев В. Д. Механика горных пород и рудничное крепление / М.: Углетехиздат. – 1948. – 303 с.
80. СНиП III-Б.9-69. Подземные горные выработки предприятий по добыче полезных ископаемых. Правила производства и приёмки работ. Москва, 1970. – 29 с.
81. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция // М.: 2012. – 49 с.
82. Солодянкин А.В. Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса / А.В. Солодянкин и др // Розробка родовищ: 36. наук. пр. – 2014. – Т. 8. – С. 171-178.
83. Строительство подземных сооружений горным способом с применением обделок из набрызг-бетона. Правила производства работ, контроль выполнения и требования к результатам работ // Стандарт организации. СТО НОСТРОЙ, М.: – 2013.– 121 с.
84. Сурков А. В. Управление геомеханическими и физическими процессами для повышения эффективности и безопасности разработки угольных месторождений Кузбасса: дис. ... д-ра техн. наук в виде науч. докл.: 05.15.02, 05.15.11 / А. В. Сурков. – Кемерово, 1999. – 63 с.



85. Сыркин П. С. Разработка и обоснование технологии тампонажа горных пород цементацией при строительстве капитальных выработок: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.15.04. – Кемерово, 1996. – 35 с.
86. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2016 года / Уголь. – 2017. – №3 (1092). – С. 36-50.
87. Тащиенко В.П. Постановка задачи расчета крепи с тампонажем закрепного пространства / В.П. Тащиенко, В.А. Гоголин, И.А. Ермакова, Ю.В. Лесин, А.С. Лисковец // Вестник КузГТУ. – 2019. – №3. – С. 68-74.
88. Тащиенко В.П. Расчет крепи с учетом тампонажа закрепного пространства / В.П. Тащиенко, В.А. Гоголин, И.А. Ермакова, Ю.В. Лесин, А.С. Лисковец // Вестник КузГТУ. – 2019. – №3. – С. 75-81.
89. Тащиенко В.П. Увеличение несущей способности рамной крепи путем полного заполнения закрепного пространства тампонажным материалом / В.П. Тащиенко, А.С. Лисковец, М.В. Саблин // Вестник КузГТУ. – 2018. – №2. – С. 45-52.
90. Терентьев Б.Д. Геомеханическое обоснование подземных горных работ: очистные горные работы / М.: МИСиС, 2016. – 258 с.
91. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер // Наука, 1975. – 576 с.
92. Трибунский Е. С. Тампонаж горных пород (обзор изобретений) / ГОУВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т»; под ред. В. А. Хямяляйнена. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 274 с.
93. Трупаков Н. Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле // М.: Металлургиздат. – 1956. – 420 с.
94. Угляница А.В. Обоснование и разработка технологии упрочнения цементацией неустойчивой слоистой породной кровли пластовых выработок: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.15.11. – Кемерово, 1999. – 37 с.
95. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах // М.: «Горное дело», ООО «Киммерийский центр», 2011. – 216 с.
96. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». // М.: ЗАО НТЦ ПД. – 2013.
97. Франкевич Г. С. Особенности крепления капитальных выработок при сооружении водоупорных перемычек / Г. С. Франкевич, В. А. Жеребцов, В. А. Хямяляйнен // Вестник КузГТУ. – 2000. – № 2. – С. 66-69.
98. Хямяляйнен В. А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В.А. Хямяляйнен, Ю. В. Бурков, П.С. Сыркин // М.: Недра, 1994. – 399 с.
99. Хямяляйнен В. А. Цементация слоистых пород / В. А. Хямяляйнен, А. В. Угляница // Кемерово: Изд-во РАЕН, КузГТУ. – 2000. – 217 с.
100. Хямяляйнен В. А. Новые способы цементационного упрочнения горных пород / В. А. Хямяляйнен, А. Е. Майоров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 9. – С. 212-217.
101. Хямяляйнен В. А. Оценка влияния отходов углеобогащения на физико-механические свойства тампонажных растворов и параметры технологии цементации / В. А. Хямяляйнен, М. А. Баёв // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 247-253.
102. Хямяляйнен В. А. Развитие инъекционных способов уплотнения массивов горных пород в Кузбассе // Вестник КузГТУ. – 2015, № 5. – С. 25 – 31.
103. Хямяляйнен В. А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов на основе цемента и отходов углеобогащения / В. А. Хямяляйнен, М. А. Баёв // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 6. – С. 12-19.
104. Цимбаревич П.М. Механика горных пород. – М.: Углетехиздат, 1948. – 247 с.
105. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление. – М.: Углетехиздат, 1950.
106. Черданцев С. В. Математическая модель управления процессом формирования зон нарушения сплошности вокруг выработок с винтовой крепью // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 390-395.
107. Шаламанов В.А. Расчет крепей горных выработок. Учебное пособие для студентов специальности 130406 «Шахтное и подземное строительство» / В.А. Шаламанов, В.В. Першин, М.Н. Будников // Кемерово: КузГТУ. – 2011. – 86 с.
108. Шапошник Ю.Н. Разработка технологии забутовки закрепных пустот вспенивающимися материалами // Ю.Н. Шапошник, А.А. Неверов, С.А. Неверов, А.И. Конурин, Д.А. Шокарев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 2. – С. 63-74.



109. Шокарев Д.А. Внедрение технологии крепления усиленной комбинированной крепью при проходке горных выработок на шахте «Артемьевская» / Д.А. Шокарев, Ю.Н. Шапошник, А.И. Конурин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 2 (126). – С. 21-30.
110. Штумпф Г.Г. Физико-механические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.
111. Штумпф Г.Г. Горное давление в подготовительных выработках угольных шахт / Г. Г. Штумпф, П.В. Егоров, А.И. Петров, Б.В. Красильников // М.: Недра. – 1996. – 353 с.
112. Якоби О. Практика управления горным давлением // М.: Недра. – 1987. – 566 с.
113. Brady, B.H., & Brown, E.T. (2013). Rock Mechanics: For Underground Mining. New York: Springer Science & Business Media.
114. Hudson, J.A., & Harrison, J.P. (2000). Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles. New York: Elsevier.
115. Jaeger, J.C., Cook, N.G., & Zimmerman, R. (2009). Fundamentals of Rock Mechanics. Hoboken: John Wiley & Sons.
116. Jing, L. (2003). A Review of Techniques, Advances and Outstanding Issues in Numerical Modelling for Rock Mechanics and Rock Engineering. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40(3), 283-353.
117. Tatsienko V. Justification of the calculation method for arch support with rock grouting / Tatsienko V., Gogolin V., Ermakova I., Liskovets A. // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium. – 2019. – C. 01026.
118. Tatsienko V. Increase of the frame support yield load by full filling of behind-anchoring space with grout material / Tatsienko V., Liskovets A., Sablin M. // Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection: conference proceedings. – 2018. – C. 164-167.
119. Liskovets A. Contact grouting taken into account when calculating arched frame supports / A. Liskovets, V. Tatsienko, V. Gogolin // E3S Web of Conferences Vth International Innovative Mining Symposium. – 2020. – C. 01034.

## References

1. Adamovich A.N. Tsementatsiya osnovaniy gidrosooruzheniy / A.N. Adamovich, D.V. Koltunov // M.: Energiya. – 1964. – 320 s.
2. Aksenov V. V. Obzor sushchestvuyushchikh tipov krepki gornyx vyrabotok i analiz ikh vozmozhnosti primeneniya v geovinchesternoy tekhnologii / V.V. Aksenov, A.A. Kazantsev, A.A. Dortman // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2012. – №3. – S. 130-137.
3. Antsiferov S.V. O raschete obdelok tonneley, sooruzhennykh v massive grunta, podverzhenного predvaritel'nomu ukrepleniyu / S.V. Antsiferov, N.N. Fotieva, N.S. Bulychev, V.B. Gribanov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2015. – №3. – S. 98-107.
4. Baklashov I.V. Mekhanika podzemnykh sooruzheniy i konstruksii krepey / I.V. Baklashov, B.A. Kartoziya // M.: Student. – 2012. – 543 s.
5. Baklashov I.V. Prochnost' nezakreplennykh gornyx vyrabotok / I.V. Baklashov, K.V. Ruppeneyt // M.: Nedra. – 1965. – 104 s.
6. Brayt F. Zapolnenie pustot za ramami shtrekovoy krepki metodom Bullfleks // Brayt F., Krae Yu. – Glyukauf. – 1980. – № 13. – S.12-17.
7. Bulychev N.S. Mekhanika podzemnykh sooruzheniy // M.: Nedra. – 1982. – 272 s.
8. Burkov Yu. V. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii krepneniya kapital'nykh vyrabotok na osnove in"eksionnogo uprochneniya massivov gornyx porod: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.15.04, 05.15.11. // Kuzbasskiy NII shakhtnogo stroitel'stva. – Kemerovo, 1998. – 34 s.
9. Voytov M. D. Issledovanie i analiz stendovykh i priemochnykh ispytaniy metallicheskiykh arochnykh krepey iz SVP / M.D. Voytov, S.G. Vashchenko, P.M. Budnikov // Vestnik KuzGTU. – 2011. – №6. – С. 21-25.
10. Vybor i raschet krepey i obdelok podzemnykh sooruzheniy: ucheb. posobie / V. A. Shalamanov, V. V. Pershin, P. M. Budnikov, A. B. Sabantsev; Kuzbas. gos. tekhn. un-t. – Kemerovo, 2010. – 142 s.
11. Galeman V. Prakticheskie primery mekhanizirovannogo zapolneniya zakrepnogo prostranstva // Glyukauf. – 1979. – №24.
12. Gamayunov V. V. O napravlenii razvitiya tekhnologii sooruzheniya gorizonta'nykh i naklonnykh gornyx vyrabotok v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh / V.V. Gamayunov, V.P. Drutsko i dr. // Geotekhnicheskaya mekhanika: Mezhd. sb. nauch. tr. – Dnepropetrovsk: IGTM NANU, 2004. – Vyp. 51. – S. 92-102. Rezhim dostupa: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/87309>



13. Glushko B.G. Razrushenie gornykh porod i prognozirovaniye proyavleniy gornogo davleniya / B.G. Glushko, V.V. Vinogradov // M.: Nedra. – 1982. – 192 s.
14. Gogolin V.A. Deformatsionnye i prochnostnye kharakteristiki khрупkikh gornykh porod pri szhatii // Vestnik KuzGTU. – 2016. – №3. – S. 3-7.
15. Golovin K.A. Raschet krepey, vzaimodeystviyushchikh so sloem rasshiryayushchikhsya porod / K.A. Golovin, R.A. Kovalev, A.B. Kopylov // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. – 2016. – № 4. – S. 174-178.
16. Gornaya entsiklopediya. <http://www.mining-enc.ru/k/krep-gornaya>
17. Gospodarikov A.P. Matematicheskoe modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornykh porod pri razrabotke pologikh mestorozhdeniy / A.P. Gospodarikov, M.A. Zatsepin // Zapiski Gornogo instituta. – 2010. – T. 187. – S. 47-54.
18. Gosudarstvennyy standart Rossiyskoy Federatsii. Krepi metallicheskie podatlivye ramnye. Metody ispytaniy. (GOST R 50910). Gosstandart Rossii. M.:1996. – 12 s.
19. Gosudarstvennyy standart SOYuZA SSR. Profili goryachekatanye SVP dlya krepi gornykh vyrabotok. Sortiment. (GOST 18662–83). M.:1983. – 3 s.
20. Deev P.V. Vliyaniye velichiny tekhnologicheskogo zazora na napryazhennoe sostoyaniye obdelok tonneyey / P.V. Deev, A.S. Sammal', S.V. Antsiferov, N.V. Shelepov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2018. – №4. – S. 287-293.
21. Demin V.F., Yavorskiy V.V., Demina T.V. Issledovaniye napryazhennoe sostoyaniya prikonturnogo massiva vokrug vyemochnykh vyrabotok v zavisimosti ot vliyaniya gorno-tekhnologicheskikh faktorov. // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. – 2015. – № 7-2. – S. 196-200. Rezhim dostupa: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6992>
22. Dinnik A.N. O davlenii gornykh porod i raschete krepi krugloy shakhty // Inzhenernyy rabotnik. – 1926. – № 3. – S. 1-12.
23. Dinnik A.N., Morgaevskiy A.V., Savin G.N. Raspredeleniye napryazheniy vokrug podzemnykh gornykh vyrabotok / V kn.: «Trudy soveshchaniya po upravleniyu gornym davleniem», Akademizdat, 1938.
24. Duda E. G. Rukovodstvo po proizvodstvu predvaritel'noy tsementatsii gornykh porod pri prokhodke vertikal'nykh stvolov shakht glubinoy do 400-500 m (vremennoe) / E. G. Duda [i dr.]; pod obshch. red. N. G. Trupaka // Kemerovo, KuzNIIshakhtostroy. – 1972. – 172 s.
25. Instruksiya po vyboru ramnykh podatlivykh krepey gornykh vyrabotok. Izd. 2-e, pererab. i dop. SPb., Nauch.-issled.in-t gorn, geomekh. i marksheyd.dela, 1991. – 125 s.
26. Irresberger Kh. Uspekhi tekhniki zapolneniya zakrepnogo prostranstva v vyemochnykh shtrekakh // Glyukauf. – 1980. – № 14.
27. Kambefor A. In'ektsiya gruntov / A. Kambefor; per. s fr. R. B. Kazakovoy i V. B. Kheyfetsa // M.: Energiya. – 1971. – 190 s.
28. Karasev V.A. Razrabotka i obosnovaniye parametrov mnogozvennoy spiral'noy krepi vosstayushchikh gornykh vyrabotok. Dis. kand. tekhn. nauk: 05.15.02. – Kemerovo, 1998. – 128 s.
29. Karetnikov V. N. Krepleniye kapital'nykh i podgotovitel'nykh gornykh vyrabotok / V.N. Karetnikov, V.B. Kleymenov, A.G. Nuzhdikhin // Spravochnik. – M.: Nedra, 1989. – 571 s.
30. Karpov A. V. Povysheniye tekhnologichnosti krepleniya i ekspluatatsionnoy nadezhnosti podgotovitel'nykh vyrabotok pri intensivnoy otrabotke zapasov uglya: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 25.00.22 / Mosk. gos. gor. un-t. – Moskva, 2005. – 19 s.
31. Kas'yan N. N. O roli mezhramnykh ograzhdeniy v mekhanizme formirovaniya nagruzki na krep' / N. N. Kas'yan, A. O. Novikov, V. L. Samoylov, Yu. A. Petrenko // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2005. – № 4. – S. 173-174.
32. Klykov A. E. Dilatatsiya gornykh porod i smeshcheniya v vyrabotke v zavisimosti ot sostoyaniya zakrepnogo prostranstva // Forum gornikov – 2013: materialy mizhnar. konf., 2-5 zhovtnya 2013 r. – Dnipropetrovs'k, 2013. – T.2. – S. 264-271.
33. Kondratenko V.E. Stroitel'naya mekhanika. Raschet ramnoy trapetsievidnoy krepi metodom peremeshcheniy [Elektronnyy resurs] / V.E. Kondratenko, V.V. Devyat'yarova, A.A. Gerasimova – M.: MISiS, 2017. – 17 s. Rezhim dostupa: [http://www.studentlibrary.ru/book/misis\\_0017.html](http://www.studentlibrary.ru/book/misis_0017.html)
34. Koskov I.L. Novye materialy i konstruksii krepi gornykh vyrabotok // M.: Nedra. – 1987. – 196 s.
35. Kurlenya M.V. Metody matematicheskogo modelirovaniya podzemnykh sooruzheniy / M.V. Kurlenya, V.E. Mirenkov // Novosibirsk, Nauka. – 1994. – 187 s.
36. Liberman Yu.M. Davleniye na krep' kapitel'nykh vyrabotok. – M.: Nauka, 1969. – 119 s.
37. Lin'kov A.M. Uchet zapredel'nykh deformatsiy v ploskoy zadache o krugloy vyrabotke // FTPRPI. – 1977. – №5. – S. 16-22.
38. Liskovets A.S. Napravleniya razvitiya i sovershenstvovaniya tamponazhnoy krepi / A.S. Liskovets, V.P. Tatsienko, A.A. Meshkov // Gornaya promyshlennost'. – 2020. – № 2 (150). – S. 88–93.



39. Litvinskiy G. G. Stal'nye ramnye krep'i gornyykh vyrabotok / G. G. Litvinskiy, G. I. Gayko, N.I. Kuldyrkaev // Kiev: Tekhnika. – 1999. – 216 s.
40. Litvinskiy G.G. Mezhrannyye ograzhdeniya shakhtnoy krep'i / G.G. Litvinskiy, G.I. Gayko, N.V. Maleev, V.B. Voloshin // Alchevsk. – 2000. – 84 s.
41. Luk'yanov V. G. Tekhnologiya provedeniya gorno-razvedochnyykh vyrabotok: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata / V.G. Luk'yanov, A.V. Pankratov, V.A. Shmurygin // M.: Izd-vo Yurayt. – 2016. – 549 s.
42. Mayorov A. E. Konsolidiruyushchee krep'lenie gornyykh vyrabotok/ A. E. Mayorov, V. A. Khyamyalyaynen // Novosibirsk: SO RAN. – 2009. – 258 s.
43. Mayorov A.E. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii anker-in"eksionnogo krep'leniya kapital'nykh vyrabotok s ispol'zovaniem tsementnykh rastvorov i sypuchego zapolnitelya: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 25.00.22. – Kemerovo, 2012. – 42 s.
44. Maksimov A.P. Gornoe davlenie i krep' vyrabotok // M.: Nedra. – 1973. – 287 s.
45. Makshankin D. N. Obosnovanie krep'leniya gornyykh vyrabotok metallicheskoy krep'yu iz shakhtnogo profilya: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 25.00.22. – Kemerovo, 2012. – 19 s.
46. Makshankin D.N. Vozmozhnost' modelirovaniya stendovyykh ispytaniy arochnyykh krep'ey/ D.N. Makshankin, A.V. Remezov, V.A. Gogolin // Vestnik KuzGTU. – 2009. – №3. – S. 50-56.
47. Makshankin D.N. Obosnovanie primeneniya arochnoy krep'i s profilem ShP na shakhtakh Kuzbassa / D.N. Makshankin, A.V. Remezov, V.A. Gogolin, I.A. Ermakova // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 5 (87). – S. 51-53.
48. Martynenko I.I. Vliyanie tamponazha zakrepnogo prostranstva na povyshenie ustoychivosti gornyykh vyrabotok / I.I. Martynenko, Zh.A. Minakova, I.A. Golubeva, I.N. Shipovskaya // Ugol' Ukrainy. – 1987. – № 12. – S. 3-4.
49. Martynenko I.I. Novye sposoby krep'leniya vyemochnykh vyrabotok, osnovannykh na ispol'zovanii traditsionno primenyaemykh seriynykh krep'ey / I.I. Martynenko [i dr.] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2002. – №7. – S. 226-230.
50. Matten V. Zapolnenie zakrepnogo prostranstva shtrekov prirodnyim angidritom // V. Matten, I. Zeeger, Kh. Tsil'essen. – Glyukauf. – 1980. – № 14. – S. 15-20.
51. Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii kontroliruemogo tamponazha zakrepykh pustot vokrug kapital'nykh gornyykh vyrabotok ugol'nykh shakht / sost. G. S. Frankevich [i dr.] // Kuzniishakhtostroy; GOU VPO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t». – Kemerovo. – 2007. – 68 s.
52. Musienko S.P. Nekotorye aspekty primeneniya tamponazha pri vozvedenii geokompozitnykh okhrannykh sistem gornyykh vyrabotok / S.P. Musienko, S.A. Kucherenko, S.D. Grebenyuk // Geotekhnicheskaya mekhanika: Mezhd. sb. nauch. tr. — Dnepropetrovsk: IGTM NANU, 2009. – Vyp. 83. – S. 122-130.
53. Nikolaenko N.N. Analiticheskie issledovaniya nesushchey sposobnosti krep'ey razlichnykh konstruksiy // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – 1980. – №3. – S.24-25.
54. Nikulin N. Yu. Kontrol' geomekhanicheskikh protsessov v gruntovom massive pri vysokonapornoy in"eksii tsementnykh rastvorov / N. Yu. Nikulin, S. M. Prostov, V. A. Khyamyalyaynen // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – 2013. – № 6. – S. 85-90.
55. Pavlov E.E. Analiz negativnykh posledstviy pereborov pri prokhodke gornyykh vyrabotok. <http://masters.donntu.org/2012/igg/chuchkos/library/article7.htm>
56. Pampura V.M. Obosnovanie parametrov tekhnologii tamponazha neodnorodnykh po pronitsaemosti gornyykh porod vokrug kapital'nykh vyrabotok: dis. ... kandidata tekhn. nauk: 25.00.22 / Kuzbas. gos. tekhn. un-t. – Kemerovo, 2001. – 141 s.
57. Panasenko L. P. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii kombinirovannogo tamponazha obrushennykh gornyykh porod pri stroitel'stve kapital'nykh vyrabotok: avtoreferat dis.... kandidata tekhn. nauk: 05.15.11. – Kemerovo, 1999. – 18 s.
58. Panasenko S. L. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii vozvedeniya tamponazhno-drenaznykh zaves vokrug gornyykh vyrabotok: avtoreferat dis.... kandidata tekhn. nauk: 25.00.22. – Kemerovo, 2002. – 21 s.
59. Patent № 136090 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E21D 21/00 (2006.01). Inventarnaya opalubka dlya zapolneniya tverdeyushchey smes'yu prostranstva za krep'yu: № 2013136429/03: zayavl. 2013.08.02: opubl. 2013.12.27 / Kopytov A. I., Voytov M. D. – 4 s.:il.
60. Patent №175401 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E21D 11/10 (2006.01), E21D 5/11 (2006.01). Krep' gornoy vyrabotki: № 2017109467: zayavl. 21.03.2017: opubl. 04.12.2017 / Tatsienko V. P., Meshkov A. A., Liskovets A. S., Kharitonov I. L., Volkov M. A. – 3 s.: il.
61. Patent №2702308 Rossiyskaya Federatsiya, SPK E21D 11/10 (2019.05). Opalubka dlya krep'leniya gornoy vyrabotki: № 2019103755: zayavl. 11.02.2019: opubl. 07.10.2019 / Tatsienko V.P., Liskovets A.S., Cherepanova L.V., Meshkov A.A., Cherdantsev A.M. – 8 s.:il.



62. Patent №69156 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E21D 11/00(2006.01). Krep' gornoy vyrabotki: № 2007128403/22: zayavl. 2007.07.23: opubl. 2007.12.10 / Tatsienko V. P., Burkov Yu. V., Ponasenkov L. P., Ponasenkov S. L. – 4 s.:il.
63. Pokrovskiy N.M. Tekhnologiya stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy i shakht. Chast' 1 // M.: Nedra. – 1977. – 400s.
64. Praktikum po ekonometrike: Ucheb. posobie / I.I. Eliseeva, S.V. Kuryшева, N.M. Gordienko i dr.; Pod red. I.I. Eliseevoy // M.: Finansy i statistika. – 2001. – 192 s.
65. Prostov S. M. Opredelenie bezopasnykh parametrov ustanovki pri elektrokhimicheskom ukreplenii obvodnennykh gruntov / S. M. Prostov, M. V. Gutsal, V. A. Khyamyalyaynen // Vestnik KuzGTU. – 2001. – № 6. – S. 35-38.
66. Prostov S. M. Otsenka vozmozhnosti upravleniya sostoyaniem udaroopasnykh massivov in"ektsionnym uprochneniem zony treshchinovatosti / S. M. Prostov, V. A. Khyamyalyaynen // Vestnik KuzGTU. – 1998. – № 3. – S. 7-10.
67. Protod'yakonov M.M. Davlenie gornykh porod i rudnichnoe kreplenie. –M.: Gostekhizdat, 1931.–153 s.
68. Protod'yakonov M.M. Davlenie gornykh porod i rudnichnoe kreplenie / Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe gornoe izdatel'stvo, 1931. – 104 s.
69. Protosenya A.G. Mekhanika podzemnykh sooruzheniy. Uchebnoe posobie / A.G. Protosenya, M.A. Karasev // Sankt-Peterburg: Gornyy universitet. – 2013. – 113 s.
70. Remezov A. V. Osnovnye vidy krepleniya gornykh vyrabotok i metodika rascheta tekhnicheskikh parametrov / A. V. Remezov, V.G. Kharitonov, D.N. Makshankin, A.F. Bryn'ko, V.V. Ermak // Kemerovo: Kuzbassvuzizdat. – 2007. – 306 s.
71. Rosstal'noy E. B. Sovershenstvovanie tekhnologii tamponazha zakrepnykh pustot kapital'nykh vyrabotok ugol'nykh shakht: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 25.00.22. – Kemerovo, 2008. – 18 s.
72. Rosstal'noy E.B. Laboratornye issledovaniya vliyaniya tamponazha zakrepnogo prostranstva na nesushchuyu sposobnost' krepey metodom ekvivalentnykh materialov / E.B. Rosstal'noy // Vestnik KuzGTU. – 2006. – №6.2. – C. 47-49.
73. Rosstal'noy E.B. Tamponazh zakrepnogo prostranstva pri provedenii i podderzhanii gornykh vyrabotok // Vestnik KuzGTU. – 2007. – №1. – C. 22-23.
74. Rukovodstvo po proektirovaniyu podzemnykh gornykh vyrabotok i raschetu krep'i. VNIMI, VNIOMShS Minugleproma SSSR. – M.: Stroyizdat. – 1983. – 272 s.
75. Ruppeneyt K.V. Vvedenie v mekhaniku gornykh porod / K.V. Ruppeneyt, Yu.M. Liberman // M.: Gosgortekhizdat. – 1960. – 366 s.
76. Sammal' A.S. Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva, slozhennogo dvumya tipami porod, v okrestnosti napornoy krugovoy vyrabotki / A.S. Sammal', S.V. Antsiferov, N.S. Pavlova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. – 2018. – № 7. – S. 37-44.
77. Sammal' A.S. Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya mnogoslownykh obdelok parallel'nykh nekrugovykh podvodnykh tonneley s tekhnologicheskimi neodnorodnym massivom porod / A.S. Sammal', I.Yu. Voronina, N.V. Shelepov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2016. – № 3. – S. 154-163.
78. Sammal' A.S. Opredelenie oblasti primeneniya betonnoy krep'i stvolov v zonakh tektonicheskikh narusheniy / Cammal' A.S., Sergeev S.V., Antsiferov S.V., Deev P.V. // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2018. – № 4. – S. 317-326.
79. Slesarev V. D. Mekhanika gornykh porod i rudnichnoe kreplenie / M.: Ugletekhizdat. – 1948. – 303 s.
80. SNiP III-B.9-69. Podzemnye gornye vyrabotki predpriyatiy po dobyche poleznykh iskopaemykh. Pravila proizvodstva i priemki rabot. Moskva, 1970. – 29 s.
81. SNiP I-94-80. Podzemnye gornye vyrabotki. Aktualizirovannaya redaktsiya // M.: 2012. – 49 s.
82. Solodyankin A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii tamponazha zakrepnogo prostranstva v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh shakht Zapadnogo Donbassa / A.V. Solodyankin i dr // Rozrobka rodovishch: Zb. nauk. pr. – 2014. – T. 8. – S. 171-178.
83. Stroitel'stvo podzemnykh sooruzheniy gornym sposobom s primeneniem obdelok iz nabryzg-betona. Pravila proizvodstva rabot, kontrol' vypolneniya i trebovaniya k rezul'tatam rabot // Standart organizatsii. STO NOSTROY, M.: – 2013. – 121 s.
84. Surkov A. V. Upravlenie geomekhanicheskimi i fizicheskimi protsessami dlya povysheniya effektivnosti i bezopasnosti razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa: dis. ... d-ra tekhn. nauk v vide nauch. dokl.: 05.15.02, 05.15.11 / A. V. Surkov. – Kemerovo, 1999. – 63 s.



85. Syrkin P. S. Razrabotka i obosnovanie tekhnologii tamponazha gornyx porod tsementatsiy pri stroitel'stve kapital'nykh vyrabotok: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.15.04. – Kemerovo, 1996. – 35 s.
86. Tarazanov I. G. Itogi raboty ugol'noy promyshlennosti Rossii za yanvar'-dekabr' 2016 goda / Ugol'. – 2017. – №3 (1092). – S. 36-50.
87. Tatsienko V.P. Postanovka zadachi rascheta krep'i s tamponazhem zakrepnogo prostranstva / V.P. Tatsienko, V.A. Gogolin, I.A. Ermakova, Yu.V. Lesin, A.S. Liskovets // Vestnik KuzGTU. – 2019. – №3. – С. 68-74.
88. Tatsienko V.P. Raschet krep'i s uchetom tamponazha zakrepnogo prostranstva / V.P. Tatsienko, V.A. Gogolin, I.A. Ermakova, Yu.V. Lesin, A.S. Liskovets // Vestnik KuzGTU. – 2019. – №3. – С. 75-81.
89. Tatsienko V.P. Uvelichenie nesushchey sposobnosti ramnoy krep'i putem polnogo zapolneniya zakrepnogo prostranstva tamponazhnym materialom / V.P. Tatsienko, A.S. Liskovets, M.V. Sablin // Vestnik KuzGTU. – 2018. – №2. – С. 45-52.
90. Terent'ev B.D. Geomekhanicheskoe obosnovanie podzemnykh gornyx rabot: ochistnye gornye raboty / M.: MISiS, 2016. – 258 s.
91. Timoshenko S.P. Teoriya uprugosti / S.P. Timoshenko, Dzh. Gud'er // Nauka, 1975. – 576 s.
92. Tribunskiy E. S. Tamponazh gornyx porod (obzor izobreteniy) / GOUVPO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t»; pod red. V. A. Khyamyalyaynena. – Kemerovo: KuzGTU, 2003. – 274 s.
93. Trupak N. G. Tsementatsiya treshchinovatykh porod v gornom dele // M.: Metallurgizdat. – 1956. – 420 s.
94. Uglyanitsa A.V. Obosnovanie i razrabotka tekhnologii uprochneniya tsementatsiy neustoychivoy sloistoy porodnoy krovli plastovykh vyrabotok: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.15.11. – Kemerovo, 1999. – 37 s.
95. Ukazaniya po ratsional'nomu raspolozheniyu, okhrane i podderzhaniyu gornyx vyrabotok na ugol'nykh shakhtakh // M.: «Gornoe delo», OOO «Kimmeriyskiy tsentr», 2011. – 216 s.
96. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po raschetu i primeneniyu anker'noy krep'i na ugol'nykh shakhtakh». // M.: ZAO NTTs PD. – 2013.
97. Frankevich G. S. Osobennosti krep'leniya kapital'nykh vyrabotok pri sooruzhenii vodoupornykh peremychek / G. S. Frankevich, V. A. Zherebtsov, V. A. Khyamyalyaynen // Vestnik KuzGTU. – 2000. – № 2. – С. 66-69.
98. Khyamyalyaynen V. A. Formirovanie tsementatsionnykh zaves vokrug kapital'nykh gornyx vyrabotok / V. A. Khyamyalyaynen, Yu. V. Burkov, P.S. Syrkin // M.: Nedra, 1994. – 399 s.
99. Khyamyalyaynen V. A. Tsementatsiya sloistykh porod / V. A. Khyamyalyaynen, A. V. Uglyanitsa // Kemerovo: Izd-vo RAEN, KuzGTU. – 2000. – 217 s.
100. Khyamyalyaynen V. A. Noveye sposoby tsementatsionnogo uprochneniya gornyx porod / V. A. Khyamyalyaynen, A. E. Mayorov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2010. – № 9. – С. 212-217.
101. Khyamyalyaynen V. A. Otsenka vliyaniya otkhodov ugleobogashcheniya na fiziko-mekhanicheskie svoystva tamponazhnykh rastvorov i parametry tekhnologii tsementatsii / V. A. Khyamyalyaynen, M. A. Baev // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2014. – № 4. – С. 247-253.
102. Khyamyalyaynen V. A. Razvitie in'ektsionnykh sposobov uplotneniya massivov gornyx porod v Kuzbasse // Vestnik KuzGTU. – 2015, № 5. – С. 25 – 31.
103. Khyamyalyaynen V. A. Eksperimental'nye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv tamponazhnykh rastvorov na osnove tsementa i otkhodov ugleobogashcheniya / V. A. Khyamyalyaynen, M. A. Baev // Vestnik KuzGTU. – 2013. – № 6. – С. 12-19.
104. Tsimbarevich P.M. Mekhanika gornyx porod. – M.: Ugletekhizdat, 1948. – 247 s.
105. Tsimbarevich P.M. Rudnichnoe krep'lenie. – M.: Ugletekhizdat, 1950.
106. Cherdantsev S. V. Matematicheskaya model' upravleniya protsessom formirovaniya zon narusheniya sploshnosti vokrug vyrabotok s vintovoy krep'yuy // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2006. – № 11. – С. 390-395.
107. Shalamanov V.A. Raschet krep'ey gornyx vyrabotok. Uchebnoe posobie dlya studentov spetsial'nosti 130406 «Shakhtnoe i podzemnoe stroitel'stvo» / V.A. Shalamanov, V.V. Pershin, M.N. Budnikov // Kemerovo: KuzGTU. – 2011. – 86 s.
108. Shaposhnik Yu.N. Razrabotka tekhnologii zabutovki zakrepykh pustot vspeivayushchimisya materialami // Yu.N. Shaposhnik, A.A. Neverov, S.A. Neverov, A.I. Konurin, D.A. Shokarev // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2018. – № 2. – С. 63-74.
109. Shokarev D.A. Vnedrenie tekhnologii krep'leniya usilennoy kombinirovannoy krep'yuy pri prokhodke gornyx vyrabotok na shakhte «Artem'evskaya» / D.A. Shokarev, Yu.N. Shaposhnik, A.I. Konurin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 2 (126). – С. 21-30.



110. Shtumpf G.G. Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornyx porod i ugley Kuznetskogo basseyna: Spravochnik / G.G. Shtumpf, Yu.A. Ryzhkov, V.A. Shalamanov, A.I. Petrov. – M.: Nedra, 1994. – 447 s.
111. Shtumpf G.G. Gornoe davlenie v podgotovitel'nykh vyrabotkakh ugol'nykh shakht / G. G. Shtumpf, P.V. Egorov, A.I. Petrov, B.V. Krasil'nikov // M.: Nedra. – 1996. – 353 s.
112. Yakobi O. Praktika upravleniya gornym davleniem // M.: Nedra. – 1987. – 566 s.
113. Brady, B.H., & Brown, E.T. (2013). Rock Mechanics: For Underground Mining. New York: Springer Science & Business Media.
114. Hudson, J.A., & Harrison, J.P. (2000). Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles. New York: Elsevier.
115. Jaeger, J.C., Cook, N.G., & Zimmerman, R. (2009). Fundamentals of Rock Mechanics. Hoboken: John Wiley & Sons.
116. Jing, L. (2003). A Review of Techniques, Advances and Outstanding Issues in Numerical Modelling for Rock Mechanics and Rock Engineering. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40(3), 283-353.
117. Tatsienko V. Justification of the calculation method for arch support with rock grouting / Tatsienko V., Gogolin V., Ermakova I., Liskovets A. // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium. – 2019. – S. 01026.
118. Tatsienko V. Increase of the frame support yield load by full filling of behind-anchoring space with grout material / Tatsienko V., Liskovets A., Sablin M. // Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection: conference proceedings. – 2018. – S. 164-167.
119. Liskovets A. Contact grouting taken into account when calculating arched frame supports / A. Liskovets, V. Tatsienko, V. Gogolin // E3S Web of Conferences Vth International Innovative Mining Symposium. – 2020. – S. 01034.

#### **Авторы**

**Лисковец Александр Сергеевич,**

инженер

e-mail: promsnab\_kmr@mail.ru

ООО «Сибгеопроект»

Российская Федерация, г. Кемерово, 650066,  
пр. Октябрьский, 28Б

**Тащиенко Виктор Прокопьевич**

Директор института промышленной и  
экологической безопасности

докт. техн. наук, профессор

e-mail: ipeb@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический  
университет им. Т.Ф. Горбачева  
Российская Федерация, г. Кемерово, 650000,  
ул. Весенняя, 28

#### **Authors**

**Alexander S. Liskovets**

engineer

e-mail: promsnab\_kmr@mail.ru

Sibgeoproject LLC

Kemerovo, 28B Oktyabrsky av., 650066,  
Russian Federation

**Victor P. Tatsienko**

Director of the Institute of industrial and ecological  
safety

Dr.Sc., Professor

e-mail: ipeb@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
Kemerovo, 28 Vesennyya str., 650000,  
Russian Federation

#### **Библиографическое описание статьи**

Лисковец А.С., Тащиенко В.П. Анализ способов крепления, тампонажа закрепного пространства горных выработок и методов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 1 (12). – С. 27-52.

#### **Cite this article**

Liskovets A.S., Tatsienko V.P. (2021) Analysis of support and tamping methods of the behind-anchoring space of mine workings and methods for calculating the interaction of the support with the rock massif, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(12):27.