

С.П. Мусиенко, канд. техн. наук,  
С.А. Кучеренко, инженер  
(ИГТМ НАН Украины)

С.Д. Гребенюк, директор департамента  
(ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод)

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТАМПОНАЖА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ГЕОКОМПОЗИТНЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Розглянуті аспекти використання тампонажу та сумісних процесів для створення елементів комбінованих охоронних систем гірничих виробок.

## **SOME ASPECTS OF APPLICATION OF PLUG-BACK AT ERECTION OF GEOCOMPOSIT GUARD SYSTEMS MOUNTAIN MAKING**

The aspects of application of plug-back and combined processes are considered for creation elements of the combined guard systems of mountain making.

В последние годы горная наука и практика все чаще сталкиваются с достижением предельных возможностей современных технических средств и технологий проведения и крепления выработок. На ряде глубоких шахт Донбасса (Красноармейская-Западная №1, им. А.Ф. Засядько, Бутовка-Донецкая, Трудовская и др.) установка металлической арочной крепи с плотностью 3 рамы на 1м не обеспечивает устойчивого состояния горных выработок. Ряд ученых считают, что решение данной проблемы связано с разработкой новой концепции обеспечения устойчивости выработок за счет повышения грузонесущей способности разрушенных пород, создания геокомпозитных охранных систем горных выработок

Самопроизвольное разрушение горного массива вызывает сдвигание пород на контуре выработок, приводящее к деформации крепи и потере рабочего пространства. Состояние массива в окрестности выработок характеризуется компонентами полей напряжений и деформаций, прочностными, деформационными и реологическими свойствами пород, их текстурой, степенью нарушенности и др. В современной горной терминологии под управлением состоянием массива понимается управляемое воздействие на естественный ход геомеханических процессов вокруг выработки с помощью технологических и технических способов и средств для обеспечения наперед заданных параметров смещения пород.

Отечественными и зарубежными учеными и научными коллективами разработано много способов охраны выработок, основанных на уменьшении напряженного состояния окружающих пород или на увеличении их прочности.

В настоящее время управление массивом горных пород, окружающих выработки, производится в основном рамной крепью. Совершенствование данного направления связано с обоснованием для конкретных условий рациональной формы и сечения выработки, характера работы крепи (жесткий, податливый,

нарастающего сопротивления), ее металлоемкости и плотности установки. Анализ фактического состояния выработок показывает, что большинство их после проведения остается практически незакрепленными вследствие наличия больших размеров закрепного пространства. Последнее обстоятельство значительно снижает возможный технический потенциал крепи за счет неравномерного характера ее нагружения и несвоевременного ввода в работу. Увеличение закрепного пространства от 100 до 420 мм приводит к росту смещений пород кровли в 5,2 раза [1]. В то же время качественная забутовка закрепного пространства уменьшает смещения пород на контуре выработки в 1,5-4 раза.

Среди различных способов воздействия на напряженно-деформированное состояние приконтурных пород можно выделить группу способов, механизм реализации которых базируется на взаимодействии пород и вяжущих материалов. В зависимости от характера применяемого вяжущего различают цементационную, химическую и электрохимическую обработку пород. В настоящей работе ограничимся способами, использующими цемент и материалы на его основе: тампонаж, инъекция, набрызгбетонирование.

Значительное повышение сопротивления крепи достигается в том случае, когда закрепное пространство заполняется вяжущим материалом [2]. Здесь уже небольшие деформации породного массива приводят к увеличению сопротивления рамы арочной крепи до 2600 кН при использовании бетона. После этого происходит разрушение твердеющего материала в закрепном пространстве, и сопротивление крепи резко уменьшается, но не ниже 1200 кН.

Максимальный результат достигается при заполнении закрепного пространства вяжущим материалом, который базируется на портландцементе и армирован волокнами и полимерами. Стохастическое армирование тампонажного раствора рубленым волокном повышает устойчивость бетона к растрескиванию, общее сопротивление крепи и позволяет избежать его резкого снижения при разрушении твердеющего материала. Такая характеристика является предпочтительной, максимальное сопротивление развивается в наиболее благоприятный момент при весьма малых деформациях приконтурного массива горных пород, когда еще можно управлять разрушением породной оболочки.

При заполнении закрепного пространства бетоном можно добиться требуемого сочетания податливости и высокой несущей способности крепи. В этом случае конечная конвергенция уменьшается на 15-25% по сравнению с конвергенцией выработок, закрепное пространство которых заполняется породой вручную.

До настоящего времени дискуссионным является вопрос о характере работы крепи. Существуют диаметрально противоположные мнения относительно характера работы крепи. Одни специалисты считают, что крепь выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ, должна быть жесткой, способной выдерживать высокие нагрузки. Большинство ученых полагают, что крепь выработок должна быть податливой. Податливость крепи компенсирует увеличение объема пород при их разрушении, а несущая способность должна выдерживать вес этих пород.

Считается, что жесткая рамная крепь обуславливает создание сосредоточенных, повышенных нагрузок на породу в районе примыкания к ней рамы, способных разрушать горный массив, а излишняя податливость способствует образованию большой зоны разрушенных пород и увеличению давления на крепь. Поэтому крепь должна быть высокопрочной с ограниченной податливостью. По нашему мнению, устанавливать податливую крепь рекомендуется только в зоне влияния очистных работ. В случае, когда интенсивные смещения уже произошли, необходима жесткая крепь

Известно, что крепь не оказывает существенного влияния на изменение напряженного состояния пород в окрестности выработки [3] а увеличение плотности крепи - недостаточно эффективный способ уменьшения смещений пород на контуре выработки. В то же время результаты аналитических и шахтных исследований, выполненных различными учеными в последние годы, показывают, что с образованием ЗРП роль крепи становится весьма значительной.

Важной характеристикой крепи, активно влияющей на механизм взаимодействия с окружающим породным массивом, является ее несущая способность. В податливой крепи она определяется усилием срабатывания узла податливости. Поэтому для повышения отпора смещающемуся массиву пород применяются различные усиливающие конструкции или специальные динамометрические крепи.

По данным В.В. Виноградова [4], разрушенные породы обладают остаточной прочностью, равной 5-20% от прочности на одноосное сжатие. Изменением вида напряженного состояния разрушенных пород можно повысить их остаточную прочность в 1,5-2 раза.

Повышение грузонесущей способности разрушенных пород вокруг выработок может осуществляться за счет их инъекционного укрепления связующими составами или анкерного армирования.

В истории горной практики много примеров успешного использования тампонажа горных пород. Сущность способа тампонирования заключается в искусственном заполнении пустот трещин и пор массива горных пород материалом. Начало применения цементных растворов для укрепления несвязных грунтов и пород относится к концу восьмидесятых годов прошлого столетия. В последние годы для этих же целей наряду с цементными растворами используются синтетические смолы. Тампонаж нагнетанием возможен в любых трещиноватых породах, независимо от их петрографического состава (песчаниках, сланцах, известняках, гранитах и др.), а также в обломочных, щебенистых и гравелистых грунтах, которые обладают достаточной шириной трещин и пор, обеспечивающей прохождение по ним растворов.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт применения инъекционного укрепления массива пород в окрестности выработок показывает, что смещения контура выработок уменьшаются в 1,8-2,7 раза, а в некоторых случаях прекращаются. Применительно к условиям Донецкого бассейна в работах Ю.З. Заславского, Е.Б. Дружко [5], а Западного Донбасса – А.П. Максимова и В.В. Евтушенко [6] обоснованы геомеханические и технологические параметры спосо-

бов инъекционного укрепления пород при использовании цементных и синтетических растворов. Рекомендуемая авторами технология предусматривает ведение работ по инъекционному укреплению пород после образования разрушенной зоны вокруг выработок, что соответствует интервалу времени 20-30 суток после их проведения. При обосновании толщины укрепляемой зоны учитывается величина смещений контура выработки на момент производства работ по инъекционному укреплению пород. По данным автора грузонесущая способность укрепленной оболочки из разрушенных пород намного превосходит несущую способность крепи.

Характерно, что при довольно обширных теоретических и экспериментальных исследованиях технологии тампонажа и набрызгбетонирования не получили должного распространения на шахтах Украины. Одной из причин такого отставания может быть необходимость дополнительных затрат на выполнение бетоноукладочных работ. Однако, как показывают расчеты, и, что подтверждается имеющимся опытом, такие затраты имеют место только на этапе возведения крепи горной выработки и в дальнейшем окупаются за счет экономии средств на поддержание выработки в рабочем состоянии.

Другой причиной может быть отсутствие комплексных решений и технологий по применению методов тампонажа. Действительно, в подавляющем большинстве примеров имеет место применение какого-то одного частного случая тампонажа: тампонаж приконтурного массива, тампонаж закрепного пространства или пикотажа. Кроме того, большое значение для достижения поставленной цели имеет обоснованное применение тампонажных материалов.

В общем случае тампонаж (французский *tamponnage*, от *tampon* — затычка, пробка), процесс нагнетания специальных растворов в горные породы. Применяется в горном деле и гидротехническом строительстве для укрепления массива горных пород, а также создания гидроизоляционных и противofильтрационных завес, исключающих возможность проникновения подземных вод в горные выработки шахт (стволы, околоствольные дворы, штреки) или фильтрационных потоков в основания гидротехнических сооружений (плотин и др.) При бурении скважин тампонаж применяют с целью предотвратить истекание из скважин воды, нефти, природного газа и др. В зависимости от используемых тампонажных растворов различают цементацию, глинизацию, битумизацию и силикатизацию горных пород, а также укрепление массива горных пород с помощью синтетических смол. Иногда применяют комбинированный тампонаж.

При возведении геоконструктивных охранных систем горных выработок практический интерес представляют: нагнетание растворов в приконтурный массив пород (цементация), тампонаж закрепного пространства и уплотнение ограждающей крепи, в частности ее затяжки (пикотажа).

На практике очень мало внимания уделяется процессу уплотнения ограждающей крепи. Чаще всего крупные щели просто конопатятся подручными средствами. Известен опыт применения специальных тканых материалов как самостоятельно в качестве затяжки, так и в дополнение к бетонной затяжке

рамной крепи. Однако наиболее технологичным и экономически обоснованным является уплотнение ограждающей крепи методом мокрого торкретирования. В мокром методе торкретирования применяются двух- или трехпоршневые насосы. Примером такого оборудования может быть многоцелевая бетоноукладочная машина типа МБМ конструкции ИГТМ НАН Украины и НПП Технополис «Экоиндустрия». Фотография такой машины представлена на рис. 1. Применение такого метода позволяет не только обеспечить необходимую плотность крепи, но и, при необходимости, повысить ее несущую способность.

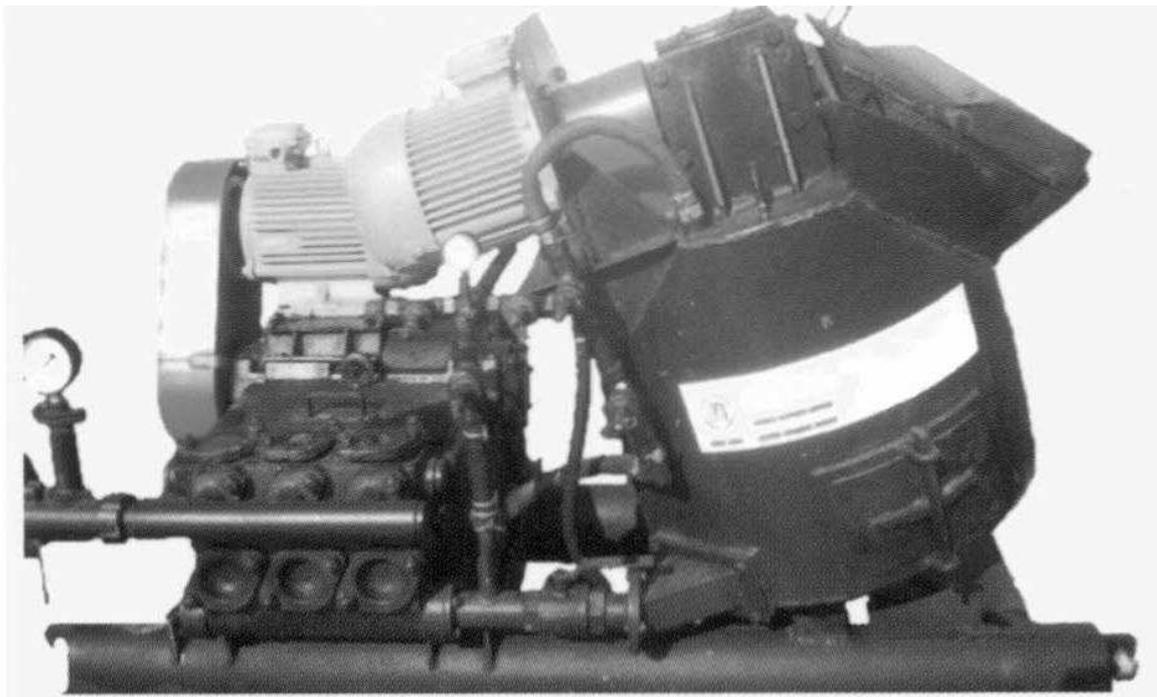


Рис. 1 – Многоцелевая бетоноукладочная машина МБМ

Машина бетоноукладочная многоцелевая предназначена для:

- непрерывного до  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$  и циклического приготовления облегченных и тяжелых бетонных смесей с содержанием до 35% легкого или тяжелого наполнителя с фракцией 5мм;
- транспортирования бетонной смеси подвижностью соответствующей осадке стандартного конуса от 4см и выше на расстояние по горизонтали до 100 м и по вертикали до 20м;
- укладки бетонной смеси за опалубку сложных конфигураций с высоким качеством уплотнения без вибрационной обработки;
- выполнения набрызга по мокрому способу бетонной смеси на различные поверхности, как с добавками ускорителей схватывания, так и без них;
- нагнетания бетонной смеси в швы, пустоты, скважины и инъектирования связующих веществ в трещиноватые зоны под давлением до 5 МПа;
- формирования тепло- и гидрозащитных оболочек;
- подачи раствора в высотных зданиях;
- МАССА- 900 кг.

Очень важен тщательный подбор рецептуры набрызгиваемого раствора и

контроль входящих в него материалов и добавок. Важнейшими из них являются ускорители схватывания и твердения бетона. Эти добавки сокращают сроки схватывания. Торкретбетон твердеет быстрее и обладает более высоким набором сил начальной Прочности. Это позволяет наносить последующие слои торкрета быстрее и увеличить толщину наносимых слоев.

В крупномасштабных проектах ускорители схватывания помогают повысить производительность и служат важными предпосылками для многих применений. При подземном строительстве и строительстве шахт, набор начальной прочности торкретбетона имеет решающее значение для устойчивости сооружаемой системы крепи.

Из технологии строительства хорошо известно, что ускорение гидратации цемента неизбежно приводит к снижению показателей набора сил 28 дневной прочности.

Таким образом, чтобы достигнуть высокого качества конечного торкретбетона, необходимо обеспечить добавление наименьшего количества ускорителя схватывания и по возможности наиболее точной последовательности его введения в бетонную смесь. Пропорция ускорителя схватывания должна определяться в каждом отдельном случае в соответствии с количеством и качеством используемого цемента.

Ускорители схватывания можно употреблять в виде порошка или жидкости.

Для повышения прочности и адгезии торкретируемого материала применяют специальные модифицирующие полимерные добавки, например Spray Con WS ST/

Основным фактором, устанавливающим долговечность бетона, является его проницаемость, которая влияет на доступ вредных веществ и таким образом изменяет скорость протеканий химических реакций в структуре.

Низкая проницаемость достигается при торкретировании посредством следующих средств:

-Использование материалов хорошего качества для удобоукладываемости торкретбетона, снижения процента отскока частиц и обеспечения надлежащего уплотнения. Все наполнители должны быть проверены на реакцию с силикатами.

-Достаточное содержание цемента, обычно от 400 до 500кг. Цементное содержание не должно быть меньше 350кг.

-Оптимальное низкое водоцементное соотношение ниже 0.45, достигаемое при использовании суперпластификаторов. Современные суперпластификаторы, относящиеся к "гиперпластификаторам" могут обеспечить водоцементное соотношение в пределах от 0.35 до 0.4, в то же время, обеспечивая осадку конуса не ниже 20см.

-Применение пуццолановых материалов таких, как жидкое стекло и РРА. Жидкое стекло имеет определенное воздействие на наполнители, что позволяет распределять продукты гидратации цемента более равномерно в объеме. Это приводит к образованию бетона со сниженной проницаемостью повышенной сульфатостойкостью и улучшенной морозостойкостью.

-Контроль микрорастрескивания до 0.2мм армированием волокнами вместо сеток.

-Контролируемые дозы безщелочных ускорителей схватывания понижающих конечную прочность в сравнении с эталонной смесью, существенно меньше выщелачивателей, снижение процента отскока частиц, пылеобразования и самое важное обеспечение безопасных условий для работы.

-Добавки контроля гидратации для предотвращения преждевременной гидратации смеси до ее нанесения на поверхность. Предварительно начавшаяся гидратация цемента может повлечь за собой значительные вредные эффекты на физические свойства торкретбетона такие, как низкая прочность, плотность и его проницаемость. Безщелочные ускорители схватывания действуют с цементом ОПЦ (особо прочный цемент) лучше, чем модифицированные ускорители, на основе жидкого стекла.

-Использование 6% силиката, обеспечивает сульфатостойкость бетона сопоставимую с ОПЦ. Это имеет важное значение так, как в торкретбетоне предпочтительнее использовать цемент марки ОПЦ, чем ПЦ из-за важности быстрого схватывания и набора начальной прочности.

-Чем ниже водоцементное соотношение - тем выше сульфатостойкость. Рекомендуется водоцементное соотношение ниже 0.45, которое можно достичь с помощью новых гиперпластификаторов.

Простые стальные волокна, незащищенные на поверхности будут оставлять следы ржавчины для безопасности и из косметических соображений рекомендуется защищать постоянные отделку из торкретбетона, армированного стальными волокнами, тонким завершающим слоем неармированного торкретбетона. С технической точки зрения механические свойства углеродных волокон должны быть идеальными для крепления горных выработок, но на практике они не применяются из-за высокой стоимости. Для практического применения можно рекомендовать новые полимерные волокна для контроля термического растрескивания. Разработка проекта бетонной смеси один, но не единственный аспект, которой следует усовершенствовать для достижения прочности торкретбетонных отделок. Производство долговечного торкретбетона существенно зависит от квалификации производителя работ и от оборудования, которое должно соответствовать цели.

При заполнении закрепного пространства бетоном можно добиться требуемого сочетания податливости и высокой несущей способности крепи. В этом случае конечная конвергенция уменьшается на 15-25% по сравнению с конвергенцией выработок, закрепное пространство которых заполняется породой вручную. При всех достоинствах такой конструкции тампонаж закрепного пространства имеет существенный недостаток – при достижении предельных нагрузок происходит разрушение бетона и резкое снижение несущей способности охранной системы горной выработки. Устранение такой возможности и повышение надежности крепи можно обеспечить применением обоснованных рецептуры растворов и параметров тампонажа.

Уменьшение содержания цемента в бетонной смеси (<400 кг) требует четко-

го контроля над дозированием ускорителей схватывания и модификаторов твердения, что в результате может снижать производительность работ, а также увеличивать процент отскока частиц бетона от наносимой поверхности.

Передозировка микросиликата (12-15%) приводит к уменьшению подвижности бетонной смеси и трудностям, возникающим в результате работы с ним. Это приводит к необходимости применения других добавок-суперпластификаторов, увеличивающих подвижность бетонной смеси.

Наполнители неокруглой формы и водоудерживающие причиняют сильное истирание насосов, шлангов и приводят к большим потерям. Также появляется риск адсорбции воды из раствора и засорения системы.

Большое количество волокон (длинных волокон) создает проблемы в перекачивании и уплотнении бетонной смеси, вокруг волокон образуются полости, наблюдаются низкие механические свойства, слабая устойчивость и худшее прилипание к поверхности. В этих случаях необходимо изменять длину волокон и переходить к более коротким.

Тампонаж вмещающих пород применяется для омоноличивания приконтурных пород, повышения их несущей способности и заполнения трещин естественной и техногенной трещиноватости. Приконтурный тампонаж выполняется через шпур, пробуренные из горной выработки. При раскрытии трещин более 0,8мм для тампонажа используются цементно-песчаные растворы. При меньших размерах трещин применяют растворы особо тонкодисперсных веществ (ОТДВ). Лучшие результаты дает последовательное применение указанных выше веществ.

ОТДВ – это мелко размолотый модифицированный материал, базирующийся на портландцементе. Регулирование отвердевания достигается изменением количества добавки-замедлителя (флегматизатора) в жидком растворе. Кроме этого эксплуатационные качества, рабочие характеристики возрастают (стабилизация жидкого раствора, ослабление из-за примесей в воде микрокварца) при использовании полимерных добавок. ОТДВ демонстрируют превосходную проницаемость. Регулирование скорости отвердевания позволяет увеличивать время применения. Это очень важно при использовании раствора на больших расстояниях и низкой проходимости материалов.

Восстановление проектных свойств бетонных, железобетонных и каменных конструкций методом инъекции суспензии ОТДВ «Микродур» технологически не отличается от инъекции смол и других полимерных составов. Отличие заключается в том, что ОТДВ «Микродур», являясь минеральным вяжущим, соответствует по своим физико-химическим свойствам материалу бетона и шовному раствору каменных конструкций.

Сведения о применении некоторых видов вяжущих, применяемых для набрызгбетонирования и тампонажа представлены в табл. 1.

Конечная прочность бетона должна быть выше нормативной прочности. При правильном выборе материалов, строгом дозировании смеси и качественном выполнении распыления конечная прочность торкретбетона не может превышать проектную марку.

Таблица 1 – Основные характеристики вяжущих, применяемых для тампонажа

Вид цемента	В/Ц	Сроки схватывания, мин		Предел прочности на сжатие, МПа, раствора в возрасте					
		начало	окончание	2ч	1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
Напрягающий цемент (НЦ)	0,31	4	6,5	—	40,8	—	—	—	65,0
Водонепроницаемый расширяющийся цемент	0,36	5	8	—	10,5	—	—	27,3	—
Пуццолано-белитовый раствор:									
низкоалюминатный	0,31	8,5	9	—	1,75	2,4	3,1	9,3	16,2
высокоалюминатный	0,31	2,3	5	—	3,5	5,5	6,9	19,0	22,0
Пуццолано-алитовый раствор:									
низкоалюминатный	0,31	4	8	—	2,1	8,4	16,5	25,5	37,0
высокоалюминатный	0,31	3	5	—	2,9	10,8	24,6	24,2	38,1
Водонепроницаемый безусадочный	0,31	3	5	5,0	—	25,0	—	—	30,0
Набрызгцемент Днепро-родзержинского завода	0,4	5	10	2,3	5,1	24,1	—	—	50,9
Быстросхватывающийся “быстряк” Криворожского завода	0,4	3	5	1,5	2,7	16,1	25,3	—	45,6
Глиноземистый цемент	0,4	5	10	—	10-15	30-35	—	—	50

С каждым годом увеличивается объем использования постоянных систем крепи из бетона в шахтах, тоннелях и других подземных сооружениях. Эта тенденция требует того, чтобы проектные и строительные фирмы были более осведомлены о современных достижениях по созданию долговечных и надежных систем крепи из торкретбетона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт [Текст] / Черняк И.Л., Бурчанов Ю.И. - М.: Недра, 1984. – 304 с.
2. Мусиенко, С.П. Индустриальные технологии сооружения высоконагруженных комбинированных охраняемых систем горных выработок [Текст] / С.П. Мусиенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./ ИГГМ НАН Украины. - Днепропетровск, 2006 - Вып. 66. - С. 113-119.
3. Заславский Ю.З. Крепление капитальных горных выработок в глубоких шахтах Донбасса [Текст] / Заславский Ю.З. // Уголь Украины. 1963. - №3. – С. 4-8.
4. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горной выработки [Текст] / Виноградов В.В. – К.: Наукова думка. – 1989. – 192 с.
5. Заславский Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород [Текст] / Заславский Ю.З., Лопотухин Е.А., Дружок Е.Б., Качан И.В. - М.: Недра, 1984. – 176 с.
6. Максимов А.П. Тампонаж горных пород [Текст] / Заславский Ю.З., Евтушенко В.В. - М.: Недра, 1978. – 180 с.