

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете имени С. Орджоникидзе

На правах рукописи

ГАРЕЕВ АЛЬБЕРТ МАРСЕЛЬЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ФОРМИРОВАНИЮ
ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПОКРЫТИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

Специальности – 05.02.22 –«Организация производства»,

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

МОСКВА 2009 г.

Научный руководитель:

доктор техн. наук, профессор

Юрий Александрович Боровков

Официальные оппоненты:

доктор техн. наук, профессор

Владимир Никифорович Лопатин

кандидат техн. наук, профессор

Дмитрий Николаевич Ребриков

Ведущая организация – ФГУП «Гипроцветмет»

Защита диссертации состоится «24» декабря 2009 г. в 16⁰⁰ час., а. 5-87а на заседании Д 212.121.09 в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо – Маклая, д.23

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе 117997, г. Москва, ул. Миклухо – Маклая, д.23

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета имени С. Орджоникидзе

Автореферат разослан «23» ноября 2009 г.

Ученый секретарь

специализированного Совета, к.т.н., доцент

Л.П. Рыжова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. При подземной разработке месторождений полезных ископаемых наиболее рациональной технологической схемой выемки запасов руды является схема с применением систем разработки месторождений с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, которые обеспечивают максимальное извлечение руд и предотвращают сдвигание и обрушение земной поверхности. Такая технология благоприятно сказывается на геологической обстановке в районе разработки месторождения. Доля применения систем разработки с закладкой в общем объеме добычи руды составляет в настоящее время более 40 %, однако высокая стоимость вяжущих и инертных заполнителей снижает экономическую эффективность применяемых систем с закладкой выработанного пространства. Для снижения расхода цемента к закладочному материалу в качестве вяжущего компонента добавляют шламы, шлаки, хвосты обогащения, т.е. отходы горного и энергетического производств.

Другой областью применения техногенного минерального сырья является его использование для формирования дорожных покрытий в горных выработках, по которым перемещается погрузочно-доставочное оборудование (ПДМ) и автомобильный транспорт, а также на очистных работах – в камерах при системах разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства. В этом случае на поверхности слоев сооружают настилы, по которым перемещается горное оборудование, доставляющее отбитую руду к рудоспуску. Для сооружения настила может использоваться бетонная или из техногенного минерального сырья твердеющая смесь.

Такие настилы исключают потери руды, улучшают условия работы самоходных машин, сокращают приток вредных газов из выработанного пространства и потери свежего воздуха, заменяют распорную крепь, что

повышает производительность труда примерно на 10 — 15%, причем область применения таких настилов устанавливается технико-экономическими показателями деятельности горного предприятия.

Прочность таких настилов устанавливается с учетом массы груженой машины, усилия черпания и площади соприкосновения шин с почвой. Поэтому решаемая задача - обоснование организации работ по формированию из техногенного минерального сырья покрытий в горных выработках и при системах горизонтальные слои с закладкой - является актуальной.

Работа выполнялась в рамках программы "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники" подпрограмма 207 "Экология и рациональное природопользование", за 2003-2008 г.г. (01.2.00 107843, 01.2.00 107844) по теме: «Разработка технологии получения новых композиционных материалов из твердых отходов промышленности и использование их для покрытия горных выработок».

Целью работы является обоснование способа организации работ при утилизации отходов горного производства для формирования искусственных покрытий в горных выработках и очистных камерах из твердеющих смесей, их приготовления и транспортирования, позволяющего повысить безопасность горных работ, снизить экономические затраты на возведение искусственного покрытия и улучшить геологическую обстановку района добычи полезного ископаемого.

Идея работы заключается в том, что при формировании искусственного покрытия в выработках и в очистных камерах следует применять разнопрочный состав твердеющих смесей, который выбирается по его сдвиговой прочности и регулируется расходом цемента и использованием в качестве вяжущего компонента отходов горного и металлургического производств.

Научные положения, защищаемые автором:

1. При организации работ по приготовлению в активаторах состава закладочной смеси для покрытий в горных выработках прочность твердеющей закладочной смеси зависит от расхода вяжущего компонента, его типа и количества добавляемого к вяжущему компоненту техногенного сырья, крупности и плотности заполнителя и от перечисленных факторов функционально увеличивается по степенному закону.

2. Для смеси с мелким заполнителем и вяжущим компонентом на цементной и цементно-шлаковой основе, или смеси с вяжущим компонентом на цементно-шлаковой основе, но с крупным и очень мелким заполнителем, изменение сдвиговой прочности зависит от показателя расхода цемента, который стремится к единице.

3. При организации работ по формированию дорожного покрытия из техногенного сырья необходимо предусмотреть заполнение выработанного пространства слоями с различным расходом вяжущего компонента 85 % высоты слоя закладывается закладочной смесью с расходом вяжущего компонента на 17—20 % меньшим, чем при закладке смесью с постоянным расходом вяжущего; верхняя часть слоя заполняется закладочной смесью с большим (на 16%) расходом вяжущего компонента.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением комплексного метода, включающего: анализ и обобщение достижений отечественной и зарубежной горной науки и практики в области управления состоянием массива горных пород закладкой выработанного пространства при подземной разработке месторождений, установление закономерностей между технологическими параметрами и экономическими показателями, экономико-математическое

моделирование с использованием методов математической статистики и апробацией научных положений на горных предприятиях.

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей изменения прочности твердеющей закладочной смеси от расхода цемента, типа и количества добавляемого к вяжущему компоненту техногенного сырья, крупности и плотности заполнителя при организации работ по формированию дорожных покрытий в горных выработках и в очистных камерах для сокращения потерь руды, улучшения условий работы самоходных машин, сокращения притока вредных газов из выработанного пространства и потери свежего воздуха, что повышает производительность труда и сохраняет в целом геэкологическую обстановку в районе очистных работ.

Практическое значение работы состоит в разработке организационных мероприятий по формированию разнопрочных искусственных закладочных дорожных покрытий, позволяющих снизить затраты на приготовление твердеющих закладочных смесей за счет использования техногенного минерального сырья и сохранения геэкологической обстановки района проведения горных работ.

Реализация работы. Результаты исследований использованы в проектах института «Гипроцветмет». Установленные закономерности и разработанные практические рекомендации используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Управление состоянием массива горных пород» и «Горное дело и окружающая среда».

Апробация работы. Основные научные положения и результаты исследований докладывались на Международных научно-практических конференциях «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» 2005-2008 г.г.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 7 опубликованных работах, в т.ч. одной монографии.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 130 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунка, 40 таблиц и список литературы из 73 наименований.

Основное содержание работы

В процессе ведения горных работ вокруг горных предприятий образуются техногенные массивы, состоящие из крупных и измельченных обломков горных пород, которые занимают значительные площади. Со временем эти разрыхленные горные породы преобразуются в особые искусственные массивы, свойства которых значительно отличаются от разрыхленных пород в процессе отделения их от естественного массива

Свойства техногенных массивов определяются как составом их материнской породы, характером ее первичного разрушения, так и процессами консолидации. Такие породы представляют из себя твердое тело, свойства которого в значительной степени определяются кусковатостью, их связанностью, формой и влажностью. Техногенные массивы имеют упорядоченное строение, определяемое схемой и способом укладки, применяемой техникой.

Проблема предупреждения и ликвидации нежелательных последствий воздействия горнодобывающих предприятий на геологическую среду, которое по масштабам может быть сопоставимо с природной геологической деятельностью, а по интенсивности может превосходить ее, имеет большое практическое значение. Наибольшие успехи при решении этой проблемы могут быть достигнуты при рассмотрении не только экономической стороны проблемы, требующей при своем решении весьма больших материальных и трудовых затрат, но и экологических.

Для решения проблемы в целом требуется комплексный подход, начиная с геолого-экономической оценки разведываемых месторождений горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Такой подход должен включать в себя: совершенствование способов добычи и переработки техногенного сырья; сокращение масштабов нарушенности массивов горных пород и земель.

Вопросам применения техногенных образований в отечественной и зарубежной практике посвящено значительное число исследований. Наибольший вклад в решение задач применения техногенных образований для возведения закладочных массивов и использования их для различных технологических нужд внесен работами Бакка Н.Т., Буянова Ю.Ф., Брюховецкого О.С., Галченко С.П., Назаренко С.В., Карасева Ю.Г., Ломоносова Г.Г., Резниченко С.С., Сычева Ю.И., Ткача В.Р., Трубецкого К.Н., Федорина В.Ю., Христолюбова В.Д., Эйриха В.И. и др.

Проблема организации работ по утилизации отходов горного производства для формирования искусственных дорожных покрытий в горных выработках и на очистных работах состоит в обосновании статической (за счет гравитационной составляющей напряжений без сдвига по плоскостям скольжения при движении самоходного оборудования) нормативной прочности покрытия при использовании в качестве вяжущих отходов горного и энергетического производств возникла при разработке сложноструктурных месторождений типа Шокпак - Камышовое (Северный Казахстан) и доработке запасов Тишинского рудника.

На горных предприятиях статическая прочность твердеющих смесей для дорожных покрытий подбирают с учетом предварительной подготовки смесей перед её размещением на почве горной выработки или в выработанное пространство с учетом его размеров. Для приготовления твердеющей смеси применяют вяжущие из портландцемента М-400 или мокро-молотого доменного

шлака. Для получения прочности в диапазоне 0,5-1,5 МПа расход цемента составляет 70, 50, 30 кг/м³, а шлака, соответственно, 130, 150, 200 кг/м³.

Исследованиями по определению статической прочности покрытия из твердеющей закладки установлено, что между расходом цемента и прочностью существует прямая зависимость, зависящая от крупности заполнителя в составе смеси на её прочностные качества. С этой целью были проведены испытания на образцах.



Рис. 1. Зависимость прочности закладки в образцах от расхода портландцемента М:400 при твердеющей смеси: 1- с мелким заполнителем на цементном вяжущем компоненте; 2- то же на цементно-шлаковом вяжущем компоненте; 3- с крупным заполнителем на цементно-шлаковом вяжущем компоненте; 4 - с очень мелким заполнителем на цементно-шлаковом вяжущем компоненте.

Результаты исследований сведены в семейство графиков, представленных на рис.1. Кривая 1 построена по стандарту при использовании песка с удельной поверхностью 12-14 м²/кг и цементно-шлакового вяжущего, а кривая 2 - по результатам обработки данных закладочного комплекса рудника при тех же компонентах. Кривая 3 описывает расход цемента в случае применения крупного заполнителя. Она построена по данным статистической обработки результатов работы закладочной установки. В составах этой закладки – шлако-цементное вяжущее и смесь из дробленых пород и песчано-гравийной смеси с удельной поверхностью 3-6 м²/кг. Кривая 4, построенная по результатам исследований, описывает расход цемента в составах на шлако-цементном вяжущем с очень мелким заполнителем.

Параметры твердеющей закладки с очень мелким заполнителем из хвостов обогащения исследованы при компонентах: портландцемент М:400 –150 кг/м³, зола с электрофильтров ГРЭС – 80 кг/м³, хвосты –1100 кг/м³, и воды 480-500 л/м³. Прочность в 28 – дневном возрасте 2-3 МПа.

Расход цемента можно снизить укрупнением поверхности стандартного заполнителя (в пределах 13 м²/кг) до значений, описанных кривыми 1, 2, 3, посредством добавления более крупного материала. Соотношение объемов и весов материалов:

$$V'_M = \frac{\gamma_K \cdot V_M \cdot (S_{CT} - S_K)}{\gamma_M \cdot (S_M - S_{CT}) + \gamma_K \cdot (S_{CT} - S_K)} \quad (1)$$

где V_M – объем очень мелкого песка до смешивания его с крупными материалами, м³; V'_M - объем очень мелкого песка после смешивания его с крупным материалом, м³; γ_M – плотность очень мелкого песка, кг/м³; γ_K – плотность добавляемого крупного материала, кг/м³; S_M – удельная поверхность очень мелкого песка, м²/кг; S_K – удельная поверхность крупного песка, м²/кг;

$S_{ст}$ – удельная поверхность мелкого песка, принятого при подборе составов, заложенных в стандарте, м²/кг (13 м²/кг).

При одинаковой плотности очень мелкого песка и добавляемого крупного материала их объемы и массы соотносятся:

$$V'_M = \frac{V_M \cdot (S_{ст} - S_K)}{(S_M - S_{ст})}, \quad (2)$$

На основании экспериментов были получены функциональные зависимости изменения статической прочности закладочной смеси ($\sigma_{ст}$) от расхода цемента ($q_{ц}$) при различной крупности заполнителя. В общем виде эти зависимости описываются степенной функцией:

$$\sigma_{ст} = \alpha \cdot \left(1 + \beta \cdot q_{ц}^n \right) \quad (3)$$

где α , β - коэффициенты пропорциональности, определяющие крупность, плотность и характер вяжущего в твердеющей смеси покрытия; $n = \frac{V'_M}{V_M}$ - показатель расхода, представляющий отношение объемов очень мелкого песка до смешивания его с крупными материалами и после смешивания.

Отсюда следует, что *при организации работ по приготовлению в активаторах состава закладочной смеси для покрытий в горных выработках прочность твердеющей закладочной смеси зависит от расхода вяжущего компонента, его типа и количества добавляемого к вяжущему компоненту техногенного сырья, крупности и плотности заполнителя и от перечисленных факторов функционально увеличивается по степенному закону.*

Таким образом, для смеси с заполнителем:

- мелким на цементном вяжущем компоненте (кривая 1 рис.1.)

$$\sigma_{ст} = 0,5358 \cdot \left(0,266 \cdot \sqrt{q_{ц}} - 1 \right)$$

- то же на цементно-шлаковом вяжущем компоненте (кривая 2 рис. 1)

$$\sigma_{ст} = 0,3967 \cdot \left(1 + 0,0262 \cdot q_{ц} \right)$$

- крупным на цементно-шлаковом вяжущем компоненте (кривая 3 рис. 1);

$$\sigma_{ст} = 2,55 \cdot \left(0,0495 \cdot \sqrt[3]{q_{ц}} - 1 \right)$$

- очень мелким на цементно-шлаковом вяжущем компоненте (кривая 4 рис.

1)

$$\sigma_{ст} = 0,815 \cdot \left(1 + 0,0748 \cdot q_{ц} \right)$$

Коэффициент корреляции в среднем составляет 0,96.

4. Таким образом, *для смеси с мелким заполнителем и вяжущим компонентом на цементной и цементно-шлаковой основе, или смеси с вяжущим компонентом на цементно-шлаковой основе, но с крупным и очень мелким заполнителем, изменение сдвиговой прочности зависит от показателя расхода цемента, который стремится к единице.*

Соотношение статической нормативной прочности закладочной смеси и прочности контрольных кубиков, изготовленных из смеси на сливе смесителя закладочной установки:

$$\sigma'_{ст} = \frac{\sigma_{ст}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (4)$$

где $\sigma_{ст}$ - нормативная прочность закладки в массиве, МПа; $\sigma'_{ст}$ - нормативная прочность закладки в образце, МПа; K_1 - коэффициент, учитывающий неоднородность массива:

$$K_1 = 1 - \frac{K_{\text{вар}}}{100} \quad (5)$$

где $K_{\text{вар}}$ – коэффициент вариации для условий рудника Шокпак -25-35%, тогда $K_1 = 0,65-0,75$; K_2 – коэффициент, учитывающий увеличение прочности закладки в зависимости от времени твердения, принимается равным соотношению прочности образцов, отобранных на сливе смесителя в 90 дневном возрасте, к прочности в 28- дневном возрасте:

$$K_2 = \frac{\sigma_{90}}{\sigma_{28}} \quad (6)$$

Коэффициент K_2 принимается для закладки на цементном вяжущем компоненте - 1,2 и цементно-шлаковом вяжущем компоненте – 1,3.

K_3 - коэффициент, учитывающий изменение прочности закладки в массиве относительно контрольных кубов. Если прочность в искусственном массиве меньше, чем образцов, отобранных на сливе смесителя закладочной установки, в 1,15-1,25 раза, то $K_3 = 1/1,15 - 1/1,25 = 0,8 - 0,87$; K_4 – коэффициент условий работы, при длительности закладки слоя из твердеющей смеси в очистной камере до 2 месяцев - 0,85, при больших сроках – 0,6.

Одними из основных направлений утилизации техногенного минерального сырья являются: технологии по возведению закладочных массивов, содержащих в качестве заполнителя пустые породы карьерных отвалов и терриконов, а в качестве вяжущего компонента хвосты обогащения или золы электростанций; шлаки от металлургического производства; а также использование техногенных отходов горного производства для малоэтажного гражданского строительства. Ниже рассмотрена технология утилизации техногенного сырья с добавлением вяжущих компонент применительно к формированию сложной структуры покрытия почвы горных выработок.

Такие покрытия необходимы при проведении капитальных, подготовительных выработок и на очистных работах. Они позволят сохранить длительное время без ухудшения механические характеристики погрузочно-доставочных машин, работающих при системе разработки горизонтальные слои с закладкой выработанного пространства и повысить производительность блоков.

С этой целью необходимо изучить несущую способность и компрессионные свойства уплотненных покрытий из техногенных отходов, а для этого выявить факторы, влияющие на неё.

В практике горного дела наиболее часто встречаются два случая нагружения закладочного массива из техногенного сырья. В первом случае нагружение массива происходит без возможности его бокового расширения (компрессионное сжатие). Во втором случае нагрузка действует на ограниченную площадь поверхности (передвижение забойного оборудования по закладочному массиву, давление крепи и т. д.), при этом деформация (осадка) материала под опорной поверхностью происходит в границах сыпучего полупространства.

В зависимости от плотности материала (во втором случае) его деформации могут сопровождаться выпиранием масс в стороны (общий сдвиг) либо уплотниться под нагруженной поверхностью (местный сдвиг). Под несущей способностью, как в первом, так и во втором случаях понимается реакция закладочного массива под нагруженной поверхностью, соответствующая заданной величине его деформации.

В реальных условиях при работе оборудования и механизмов в забое условия взаимодействия их опорных элементов с закладочным массивом, имеющим как плотное, так и рыхлое сложение, могут существенно отличаться и характеризуются изменением в широком диапазоне плотности и строения закладочного массива, площади и формы опорной поверхности и характера воздействия нагрузки.

Для определения прочности и деформаций закладочных массивов под воздействием опорных элементов машин, механизмов и крепи были выявлены основные факторы, влияющие на его несущую способность. Все факторы, влияющие на несущую способность закладочного массива, можно разделить на три группы: 1 — факторы, характеризующие условия нагружения: вид нагрузки (равномерно распределенная, внецентренная); характер нагрузки (статическая, динамическая); глубина установки опоры относительно поверхности основания, под нагрузкой глубина погружения опоры; 2 — геометрические параметры опорной поверхности (её площадь и форма); 3 — физико-механические свойства материалов и строение основания (вид, плотность и влажность материала в основании).

При определении изменчивости физико-механических характеристик удобнее использовать комплексный метод исследования — испытания штампом в сочетании с динамическим зондированием, — что позволяет за сравнительно короткий промежуток времени обследовать большие площади закладочных массивов в различные периоды их укладки в выработанное пространство.

Вследствие того, что испытание закладочного массива штампом (зондирование) проводилось на Московском заводе сухих смесей по методике КузПУ и характеризуется большой трудоемкостью и занимает много времени, опыты со штампом проводились в наиболее характерных и удобных для размещения оборудования точках закладочных массивов. В опытах использовали круглый жесткий штамп площадью 400 см². Нагружение закладочных массивов штампом производили непрерывно возрастающей нагрузкой.

Метод зондирования использовали для определения удельного веса, а также косвенной оценки несущей способности закладочных массивов. Глубина зондирования определяется исходя из глубины возможного распространения напряжений под опорными элементами машин.

В соответствии с моделью линейно-деформируемого полупространства сжимающее напряжение под центром нагруженной площадки:

$$\sigma_z = K_0 P, \quad (7)$$

где K_0 — эмпирический коэффициент, P — величина нагружения, МПа

Ширина ходовой части самоходного оборудования, используемого для очистной выемки, и выемочных машин находится в пределах 20 - 50 см. Распределение напряжений под нагруженной площадкой шириной и длиной менее одного метра представлено на рис. 2, из которого видно, что основная доля напряжений имеет распространение до глубины $z = 1$ м, поэтому глубину зондирования принималась не менее 1 м.

Вес груза для динамического зонда в соответствии определялся из условия:

$$1 < Q/q < 2, \quad (8)$$

где Q и q — соответственно вес груза и зонда.

Угол заострения конуса выбирали из условия минимального сопротивления материала погружению зонда. Диаметр штанг был принят равным 16 и 20 мм.

В результате испытаний установлены эмпирические зависимости между условным динамическим сопротивлением зондированию P_d и удельным весом закладочных материалов γ (рис. 3):

$$\gamma = A \cdot P_d^\alpha + B, \quad (9)$$

где A , B , α — эмпирические коэффициенты, зависящие от крупности и физико-механических свойств закладочного материала ($A = 0,54$, $B = 1,32$, $\alpha = 0,61$ - для крупнокускового дробленного закладочного материала из отвалов с добавлением вяжущего компонента в верхнем слое покрытия и $A = 1,22$, $B = 0,05$, $\alpha = 0,1$ — без добавлением).

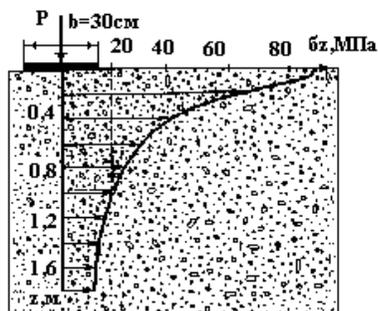


Рис.2. Распределение вертикальных напряжений σ_z под опорной поверхностью по глубине z .

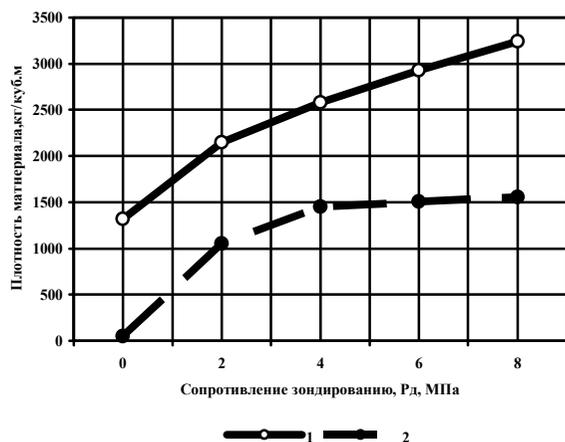


Рис.3. Зависимость между сопротивлением зондирования R_d и плотностью γ для крупнокускового дробленого закладочного материала из отвалов с добавлением вяжущего в верхнем слое покрытия (1) и без добавления (2)

Исследования закладочных массивов из отвалов с добавлением вяжущего компонента, со штампом и зондом проводились на очистных участках 6, 7 горизонтов Тишинского рудника при применении системы горизонтальные слои с

закладкой выработанного пространства при выемке прибортовых запасов месторождения.

На рис.4. приведена схема организации очистных работ применительно к системе горизонтальные слои с закладкой выработанного пространства с нанесением вяжущего компонента на верхний слой закладочного крупнокускового дробленного, материала из отвалов.

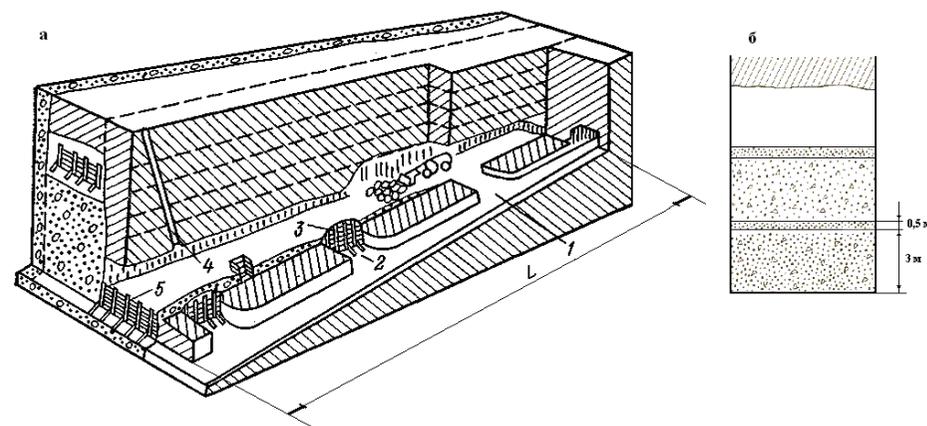


Рис. 4.. Схема организации очистных работ на слое для системы горизонтальные слои с закладкой (а) и возведения разнопрочного закладочного массива из крупнокускового, дробленного материала из отвалов массива с нанесением вяжущего компонента на верхний слой (б): 1 - транспортный уклон; 2 - слоевой орт; 3 - слоевая перемычка; 4 — закладочный восстающий; 5 - торцевая перемычка; I-IV – порядок проведения работ по формированию покрытия (I – уборка отбитой руды; II – возведение перемычки; III – закладка слоя твердеющей смесью на основе крупнокускового, дробленного материала из отвалов; IV – укладка более прочного слоя толщиной до 0,5м).

Это необходимо для свободного маневрирования на слое самоходного оборудования и снижения потерь и разубоживания (в среднем на 1,5-2%) полезного ископаемого.

Формируемая таким способом верхняя часть слоя при неравномерности подачи смеси, излишнего в ней количества воды имеет довольно значительные недостатки, такие, как образование кратеров в месте поступления смеси, потоки и наплывы, представляющие технические неудобства для передвижения самоходного оборудования по слою и уборке отбитой руды.



Рис. 5. Изменение плотности закладочных массивов за период отработки слоя: 1 - крупнокусковой дробленый закладочный материал из отвалов с добавлением вяжущего компонента в верхнем слое покрытия и 2 – тоже без добавления вяжущего компонента.

Содержание в закладочном массиве вовлеченного воздуха, поступающего с закладочной смесью при пневматическом ее транспортировании по трубам,

обуславливает пористую структуру массива, требующую в ряде случаев дополнительного уплотнения вибраторами типа виброкатков, применяемых в дорожном строительстве.

Анализ результатов уплотнения закладочных массивов на опытных участках по данным динамического зондирования показал, что основное уплотнение закладочных массивов под действием силы тяжести происходит в первые трое суток (рис. 5). Пространственное изменение плотности и несущей способности по длине слоя определялось путем испытаний закладочных массивов штампом и зондом в течение двух суток (рис. 6).

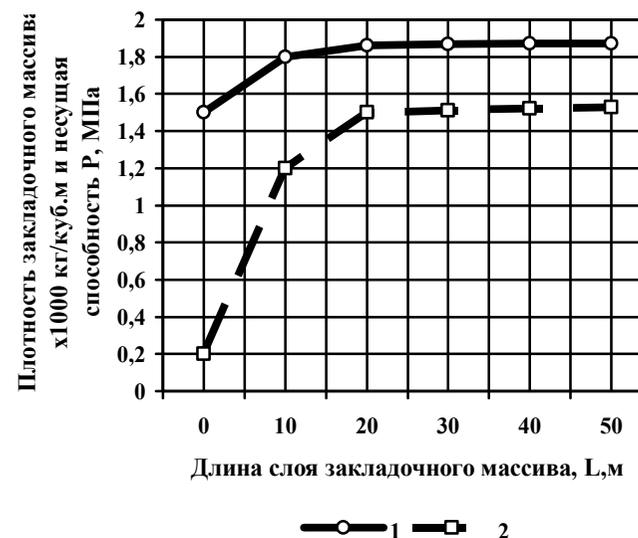


Рис.6. Распределение плотности (1) и несущей способности (2) закладочного массива по длине слоя.

Сопоставление результатов отдельных измерений плотности и несущей способности с особенностями расположения исследуемых зон по площади забоев показало, что при формировании закладочных массивов из мелкокусковых горных пород с выпуском закладочного материала из одной точки наблюдаются характерные, ослабленные зоны в районах закладочного восстающего. Это вызвано вымыванием мелких фракций из пор массива.

Для определения влияния площади опорной поверхности на несущую способность и деформационные свойства закладочных массивов использовали круглые штампы площадью 100, 400, 1000, 2500 и 5000 см² с нагружением их непрерывно возрастающей нагрузкой.

Анализ результатов экспериментов показал, что между реактивным сопротивлением материалов вдавливанию, площадью опорной поверхности и величиной вертикальной деформации существует степенная зависимость рис. 7.

Опыты также показали, что для штампов площадью менее 1000 см² зависимость между напряжением и деформацией нелинейна и хорошо описывается эмпирическими выражениями:

$$P = Az^{\alpha} + \varphi, \quad (9)$$

где A, α, φ – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств закладочных массивов.

Для штампов площадью более 1000 см² зависимость имеет линейный характер и аппроксимируется уравнением прямой ($\alpha=1$):

$$P = Az + \varphi, \quad (10)$$

При нагружении прямоугольной площадки с различным соотношением сторон величина несущей способности определяется не общей площадью опорной поверхности, а главным образом ее шириной.

Следовательно, с увеличением глубины погружения ходовой части выемочной машины пропорционально будет возрастать и сопротивление материала

движению машины, что может в конечном итоге привести к ее буксованию и нарушению проходимости.

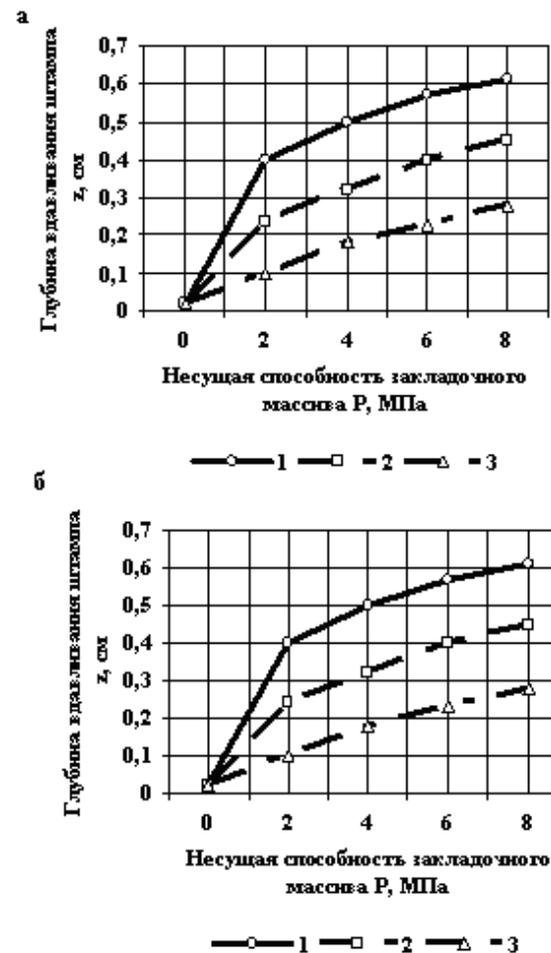


Рис.7. Кривые $P-z$ вдавливания штампов различной площади в закладочный массив с добавлением вяжущего (а) и без его добавления (б).

Таким образом, в зависимости от размера ходовой части могут возникать такие условия, когда максимальная несущая способность основания еще не достигнута, а движение машины уже невозможно. Все это зависит от способа и качества возведения и формирования покрытия.

Бетонные покрытия (настилы) возводят двумя способами: набрызгиванием (торкретированием) и разливом смеси. При первом способе сухой цемент и песок перемешивают в бетономешалке. Сухую смесь загружают в торкрет-машину, сжатым воздухом подают в очистной забой к соплу, где смачивают и наносят на поверхность породной закладки. Перед бетонированием поверхностный слой породы разравнивают, толщину наносимого бетонного покрытия контролируют по установленным реперам.

Второй способ бетонирования заключается в разливе бетоно-твердеющей смеси. В бетономешалке готовится жидкая смесь и перегружается в пневмонагнетатель, из которого сжатым воздухом по трубопроводу диаметром 100—150 мм раствор подается в рабочие блоки и из шланга разливается по поверхности закладки. Для транспортирования по трубопроводу смесь должна обладать более высокой подвижностью, чем при набрызгивании, что достигается увеличением водовяжущего отношения до 0,8—1. В результате предел прочности на сжатие материала снижается на 20—25%. Недостаток организации работ по возведению бетонного покрытия является расслоение смеси в пневмонагнетателе при ее транспортировании.

Состав смесей для возведения бетонного настила принимают в зависимости от предъявляемых требований по прочности, технологии возведения и срокам твердения (табл. 1).

Анализ опыта организации работ по возведению бетонных покрытий на почве горных выработок показал, что основным влияющим фактором применения покрытий из техногенного сырья является прочность наносимого слоя смеси.

Сравнивая данные таблицы 1 и эмпирические зависимости набора прочности смесей с различными по крупности заполнителями из техногенного сырья можно утверждать, что покрытия на бетонной основе по прочности совпадают с прочностью покрытий, например, с крупным заполнителем на цементно-шлаковом вяжущем (кривая 3 рис. 1).

Таблица 1

Предел прочности на сжатие песчано-цементных смесей

Соотношение цемент/песок + дробленая порода (по объему)	Марка цемента	Водоцементное отношение В/Ц	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте, суток	
			2	14
1:4	ПЦ М 400	0,5	2	—
1:5	ПЦ М 400	0,5	1,3	2,5
1:4	ШПЦ М 400	0,5	1,5	—

На основании сравнительного анализа необходимо обосновать прочность и толщину наносимого слоя покрытия из техногенного сырья на почву горных выработок. Учитывая прочностные характеристики закладываемого слоя и параметры самоходного оборудования, минимально допустимая толщина покрытия определяется по следующей формуле:

$$h_{п} = \sqrt{\frac{6M}{b \cdot m \cdot \eta \cdot \sigma_{из}}}, \quad (11)$$

где M — максимальный изгибающий момент, Н-м; b — ширина упругого основания, соответствующая ширине следа колеса, м; m — коэффициент, характеризующий условия работы покрытия (принимается 0,8—1,0); η — коэффициент неоднородности закладочного массива ($\eta = 0,6—0,8$); $\sigma_{из}$ - предел

прочности материала покрытия на растяжение при изгибе [$\sigma_{из} = (0,06— 0,11) \sigma_{сж}$]; $\sigma_{сж}$ - предел прочности материала покрытия на одноосное сжатие), МПа.

При толщине покрытия 0,5 м необходимая прочность закладки для применяемых типов ПДМ на момент заезда составляет (МПа): ПД-5 - 0,7; ПД-8 - 1,0; ПД-12 - 1,5. Зависимость толщины упрочненного слоя закладки (h_n) от её прочности (σ_n) имеет по нашим исследованиям с коэффициентом корреляции 0,95 следующий вид:

$$\sigma_n = \sigma_{с.л} \cdot \exp\left(\frac{h_m}{h_n}\right), \quad (12)$$

где $\sigma_{с.л}$ - прочность остальной части заложенного слоя составляет 0,3—0,4 МПа.; h_m – максимальная толщина упрочненного слоя при $\sigma_n = 1$ МПа и колеблется от 0,65 до 0,8 м.

На рис. 8. приведен график зависимости толщины упрочненного слоя закладки от её нормативной прочности.

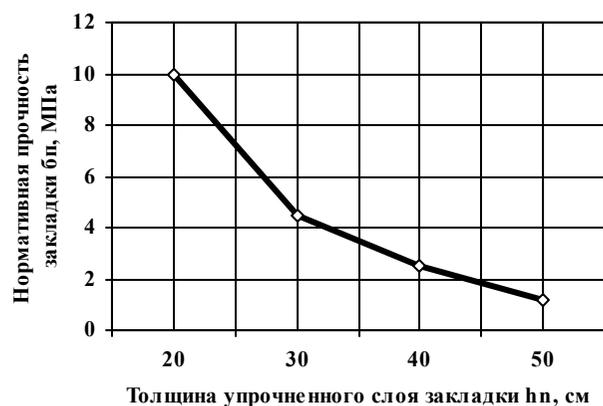


Рис. 8. График зависимости толщины упрочненного слоя закладки (h_n) от её нормативной прочности (σ_n).

Как видно из формулы (12) и графика приведенного на рис.8 величина нормативной прочности закладочного массива зависит от толщины верхнего упрочненного слоя закладки и изменяется от этого фактора по экспоненциальной зависимости.

Если закладочный массив имеет предел прочности на сжатие 0,2 - 0,4 МПа, то верхнюю его часть (бетонное покрытие) возводят из материала толщиной 35 - 50 см, предел прочности которого около 1 МПа, что обеспечивает нормальные условия для работы тяжелого самоходного оборудования.

В случае последующей подработки искусственного массива прочность закладки нижнего слоя должна соответствовать требованиям нисходящей выемки.

Организация работ по формированию дорожного покрытия из отходов горного производства заключается в заполнении выработанного "пространства" слоями с различным расходом вяжущего компонента (рис.9).

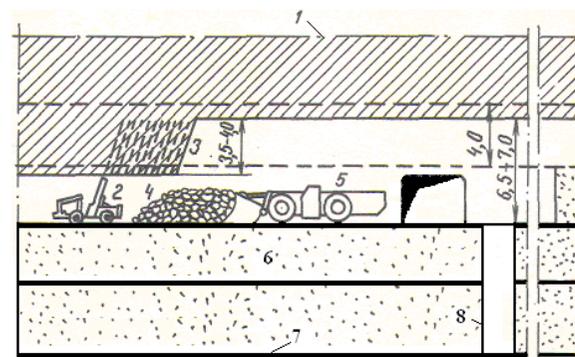


Рис. 9. Технологическая схема слоевой выемки с закладкой: 1 - рудное тело; 2 - самоходная буровая установка; 3 - шпур; 4 - отбитая руда; 5 - погрузочно-доставочная машина; 6 - закладочный массив; 7 – покрытие из утилизированных пород слоя закладки; 8 – рудоспуск.

На основании анализа существующей организации работ по возведению покрытий из техногенного сырья с добавлением вяжущего компонента был подобран оптимальный состав 1 м³ закладочной смеси для условий разработки с учетом зависимостей (3,11,12), включающий: цемент М:400 -130 кг/м³, зола от ГРЭС – 90 кг/м³, хвосты обогащения - 1000 кг/м³, пустые породы с удельной поверхностью 3-6 м²/кг – 100 кг/м³, вода – 480 л/м³. *При организации работ по формированию дорожного покрытия из техногенного сырья необходимо предусмотреть заполнение выработанного пространства слоями с различным расходом вяжущего 85 % высоты слоя закладывается закладочной смесью с расходом вяжущего, на 17—20 % меньшим, чем при закладке смесью с постоянным расходом вяжущего; верхняя часть слоя заполняется закладочной смесью с большим (на 16%) расходом вяжущего.*

Анализ организаций работ по формированию покрытий из техногенного сырья разнопрочными составами показал, что в зависимости от соотношения объемов закладки величина прибыли на 1 т добытой руды возрастает на 8–10% по сравнению с базовым составом твердеющей закладки за счет снижения расхода вяжущих и инертных заполнителей в 2,2–2,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано решение научной задачи - обоснование организации работ по формированию из техногенного минерального сырья покрытий в горных выработках и при системах горизонтальные слои с закладкой, позволяющего повысить безопасность горных работ, снизить экономические затраты на возведение искусственного покрытия и улучшить геоэкологическую обстановку района добычи полезного ископаемого.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Установлено, что оценку отходов промышленного производства с позиции дальнейшего их использования для изготовления строительных материалов следует производить по их агрегатному состоянию в момент выделения их из основного производственного процесса, в котором следует выделять класса:

- в первый класс входят отходы, не утратившие природные свойства (породы вскрыши и хвосты обогащения);

- ко второму классу относятся искусственные продукты, полученные в результате глубоких физико-химических процессов. Это в первую очередь крупный камень, щебень, пески - остатки после выщелачивания, сепарации и отмучивания, а также суспензии, шламы, грязи.

- третий класс составляют продукты, образовавшиеся в результате длительного хранения техногенного сырья в отвалах. В основном они состоят из суспензии, порошков, песков, щебня.

2. Взаимодействие всех составных частей отходов промышленного производства следует рассматривать по трем основным направлениям:

- взаимодействие минеральных составляющих (при нормальной температуре и давлении; при повышенной температуре и давлении; при высоких температурах и давлении);

- взаимодействие органических составляющих (при нормальной температуре и давлении, при повышенной температуре и давлении);

- взаимодействие минеральных и органических составляющих (при нормальной температуре и давлении, при повышенной температуре и давлении, при повышенном давлении, при повышенной температуре).

3. При разработке композиций для новых строительных материалов из техногенных продуктов необходимо учитывать микроколичества редких и радиоактивных элементов.

4. При производстве строительных материалов (настилов) из отходов промышленного комплекса, например, Афанасьевского карьера, где имеются отходы суглинка, супеси, глины, мергеля, доломита, известняка, следует стремиться к максимальному удалению из этих отходов глин и органических примесей, используя получающиеся при этом жидкие экстрактивные отходы в процессах приготовления вяжущих растворов бетонных настилов.

5. Широкое использование отходов горной промышленности для производства строительных материалов невозможно без внедрения экологически чистых методов получения прессованных стеновых изделий методом полусухого формования.

6. Основным методом управления свойствами закладочной смеси из техногенного сырья для дорожных покрытий при сохранении статической нормативной прочности возводимого закладочного массива является замена цемента, чаще всего, шлаками доменного производства путем изменения соотношений исходных компонентов в составе смеси.

7. Показателем эффективности частичной замены цемента служит соотношение шлака и цемента в составе комбинированного вяжущего. При подготовке в шаровых мельницах для замещения 1 части цемента требуется 8-20 частей шлака, а при подготовке в дезинтеграторной установке - только 6-8.

8. При дорожном строительстве статическая прочность (за счет гравитационной составляющей напряжений без сдвига по плоскостям скольжения при движении самоходного оборудования) твердеющих смесей для дорожных покрытий подбирают с учетом предварительной подготовки смесей перед её

размещением на почве горной выработки или в выработанное пространство с учетом его размеров.

9. Для приготовления рекомендованной твердеющей смеси следует применять вяжущие компоненты из портландцемента М-400 или мокро-молотого доменного шлака. Для получения прочности в диапазоне 0,5-1,5 МПа расход цемента составляет 70, 50, 30 кг/м³, а шлака, соответственно, 130, 150, 200 кг/м³.

10. При организации работ по приготовлению в активаторах закладочной смеси для покрытий в горных выработках прочность твердеющей закладочной смеси зависит от расхода вяжущего компонента, его типа и количества добавляемого к вяжущему техногенного сырья, крупности и плотности заполнителя и от перечисленных факторов функционально увеличивается по степенному закону.

11. Для смеси с мелким заполнителем и вяжущем на цементной и цементно-шлаковой основе, или для вяжущего на цементно-шлаковой основе, но с крупным и очень мелким заполнителем, изменение сдвиговой прочности зависит от показателя степени расхода цемента, который стремится к единице.

12. Основными технологиями утилизации техногенного сырья являются технологии по возведению закладочных массивов, содержащих в качестве заполнителя пустые породы из карьерных отвалов и терриконов, а в качестве вяжущего компонента могут использоваться хвосты обогащения или золы электростанций; доизвлечение тяжелых металлов их хвостов обогащения; использование отходов горного производства для малоэтажного, гражданского строительства; для формирования дорожного покрытия почвы горных выработок из техногенного сырья с добавлением вяжущего вещества.

13. Для определения прочности и деформаций закладочных массивов под воздействием опорных элементов машин, механизмов и крепи были выявлены основные факторы, влияющие на его несущую способность. Все факторы,

влияющие на несущую способность закладочного массива, можно разделить на три группы: 1 — факторы, характеризующие условия нагружения: вид нагрузки (равномерно распределенная, внецентренная); характер нагрузки (статическая, динамическая); глубина установки опоры относительно поверхности основания, под нагрузкой глубина погружения опоры; 2 — геометрические параметры опорной поверхности (её площадь и форма); 3 — физико-механические свойства материалов и строение основания (вид, плотность и влажность материала в основании).

14. Усилие, необходимое для погружения статического зонда в закладочный массив, следует рассчитывать по величине удельного реактивного сопротивления материалов при вдавливании штампов. Предварительные опыты статическим зондом показали, что сопротивление массивов значительно выше, чем ожидалось, и составляло 3,5—6,0 МПа для пустых техногенных пород вместо 0,7-1,7 МПа по испытаниям штампами.

15. По данным динамического зондирования установлено, что уплотнение закладочных массивов под действием силы тяжести (от самоходного оборудования) происходит в первые трое суток.

16. Влияние эксцентриситета приложения нагрузки на несущую способность закладочных массивов установлено с помощью двойного штампа, моделирующего ходовую часть выемочной машины. С увеличением эксцентриситета интенсивность деформаций основания под штампом для одинаковых значений нагрузок существенно возрастает. Осадка штампа в точке приложения силы в диапазоне изменения нагрузки от 0 до 0,3 МПа для крупнокусковых, дробленных пород без вяжущего и до 0,1 МПа для тех же пород с добавлением вяжущего при величине эксцентриситета $e = 0,4-0,6-0,8$ по сравнению с его погружением при равномерно распределенной нагрузке ($e = 0$), возрастает соответственно в 1,2; 1,8; 3,5 и 3,3; 7,6; 15 раз (при величине

эксцентриситета более 0,4 наблюдается интенсивный рост деформаций закладочных массивов).

17. Результаты исследований использованы в проектах института «Гипроцветмет» и могут быть рекомендованы для горных предприятий, ведущих разработку месторождений системами горизонтальные слои с твердеющей закладкой выработанного пространства и утилизирующих свои отходы для формирования дорожных покрытий.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Агапов Е.В., Гареев А.М., Курносов А.М., Полтавец И.А. Геоэкологические особенности разработки месторождений полезных ископаемых //Под редакцией проф. Боровкова Ю.А. - М.: НИИ-Природа, 2004. – 174 с.

2. Агапов Е.В., Гареев А.М., Курносов А.М., Полтавец И.А. и др. Вопросы экологического обоснования разработки месторождений полезных ископаемых //Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых».- М.: РГГРУ, 2006,с. 60.

3. Агапов Е.В., Гареев А.М., Курносов А.М., Полтавец И.А. Геоэкологические особенности разработки месторождений полезных ископаемых //Под редакцией проф. Боровкова Ю.А. - М.: НИИ-Природа, 2004. – 174 с.сов А.М., Полтавец И.А. и др. Новый подход к управлению отходами //Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых».- М.: РГГРУ, 2006,с. 61.

4. Боровков Ю.А., Гареев А.М., Никитин С.Е. Геоэкологический подход к определению несущей способности закладочных массивов из отвалов техногенного минерального сырья для покрытия почвы горных выработок

//Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых».- М.: РГГРУ, 2006, с. 294

5. Боровков Ю.А., Гареев А.М., Тофайл А. Выбор состава материала из отвалов техногенного минерального сырья для покрытия почвы горных выработок //Материалы V Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва - Кызыл-Кия, 18-22 сентября, 2006, с. 188-190.

6. Исмаилов Т.Т., А.М. Гареев, А.М. Курносов И.А., Полтавец Разработка методики геоэкологической оценки воздействия на земельные ресурсы горных предприятий при развитии горных работ //Горный журнал Известия ВУЗов – Свердловск, 2007, №1,с.27-29.

7. Боровков Ю.А., Гареев А.М Особенности определения несущей способности закладочных массивов из отвалов техногенного минерального сырья для покрытия почвы горных выработок //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007, №12, с.18-22.

