

**КОЛОМИЙЦЕВА ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА**

**Исследование механоактивации в технологии закладочных работ  
и контроль качества производства**

6N0732 – Стандартизация, метрология и сертификация

**Автореферат**  
диссертации на соискание  
академической степени магистра техники и технологии

Республика Казахстан  
г. Усть-Каменогорск, 2011 г.

Работа выполнена в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете имени Д.Серикбаева

**Научные руководители:** кандидат технических наук, профессор  
**Чернокульский Ю.П.**  
кандидат технических наук, профессор,  
старший научный сотрудник Родин А.Н.

**Официальный оппонент:** Директор ВКф РГП «КазИнМетр»  
Антропова Л.М.

Защита состоится « 28 » января 2011 года в \_\_\_\_\_ ч. на заседании диссертационного совета по специальности 6N0732 «Стандартизация, метрология и сертификация» в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете имени Д. Серикбаева по адресу:  
074000, г. Усть-Каменогорск, ул. Шолохова, 49

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Галкина Д.К.

## **Введение**

### Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 52 страницах и 4 страницах приложения, иллюстрирована 11 рисунками, количество таблиц – 15. Диссертация состоит из нормативных ссылок, введения, основной части, содержащей 4 главы, заключения, списка использованных источников из 33 пунктов и 1 приложения, в которое вынесена разработанная схема производственного контроля.

### Перечень ключевых слов

Закладочные работы, механоактивация, эффективность, планирование эксперимента, корреляционный анализ, регрессионный анализ, модель, технология, контроль качества.

### Актуальность работы

Экономическое положение на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан предопределяет направление исследовательских и конструкторских работ на поиск, обоснование параметров и разработку технологий, предусматривающих снижение затрат на добычу при высоком уровне количественных и качественных показателей извлечения полезного ископаемого из недр.

Этим требованиям отвечают системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

Вместе с тем применение закладки сопровождается повышением себестоимости добычи руды из-за дополнительных затрат на закладочные работы и большого расхода дорогостоящего цемента, других стандартных вяжущих и заполнителей.

Использование местных природных материалов и отходов производства позволит существенно сократить затраты не только на закладочные работы, но и на содержание различного рода отвалов и хвостохранилищ, соответственно уменьшив площади земель для отходов.

К многотоннажным промышленным отходам относятся золы энергетической промышленности. Использование зол ТЭЦ осложняется тем, что их зачастую получают в условиях гидроудаления, при котором активные частицы золы гидратируются при соприкосновении с водой и частично теряют свою активность, для повышения которой необходимо производить ее помол.

Измельчение компонентов в процессе приготовления закладочных смесей – наиболее распространенный и эффективный способ активации. Этот способ позволяет ускорить процесс гидратации в результате разрушения пленок гидратированной коллоидной массы с поверхности частиц. Разрушение коллоидных пленок в сочетании с увеличением поверхности вяжущего приводит к интенсификации гелеобразования, повышению активности вяжущего и впоследствии к росту прочности закладочного массива. Последнее связано с тем, что толщина слоя гидратации зерен вяжущего после 6 месяцев твердения составляет 15 мкм. Следовательно, полностью будут гидратировать только зерна, имеющие размер не более 30 мкм; зерна вяжущего большего размера частично остаются негид-

ратированными или гидратируют с поверхности и выполняют функцию микро-заполнителя.

Таким образом, дополнительное измельчение приводит к более полному использованию вяжущего, что позволяет снизить его расход или увеличить прочность закладки.

Обычное измельчение золы ТЭЦ в шаровых мельницах уменьшает расход цемента без снижения прочности бетона не более чем на 10-20 % при длительном процессе измельчения, в то время как в технологии закладочных работ уже с 70-х годов XX века используются вибрационные установки, которые позволяют получить тот же эффект при меньшем времени измельчения.

Обычно подбор состава закладочной смеси осуществляется расчетно-экспериментальным методом, применяемым в строительстве для бетонных смесей, либо данные методики дорабатываются с учетом особенностей закладочных составов. Основным недостатком отмеченных способов подбора заключается в том, что они не позволяют оперативно изменять состав закладочной смеси при изменениях горнотехнических условий или расстояния транспортирования смеси. В этих случаях подбор составов необходимо проводить заново, что осложняется необходимостью проведения большого числа трудоемких экспериментов.

#### Объект и предмет исследования

Объектом исследования является технология приготовления закладочной смеси. В качестве предмета исследования определен состав закладочной смеси.

#### Цель исследования

Целью исследования является изучение факторов, влияющих на эффективность механоактивации сложного цементно-зольного вяжущего, и построение модели зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

#### Задачи исследования

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- ознакомиться с понятием механоактивации минеральных веществ;
- провести литературный обзор с целью изучения факторов, оказывающих влияние на эффективность механоактивации;
- изучить влияние механоактивации на процессы твердения и структуру цементного камня;
- провести экспериментальную работу по исследованию зависимости прочности и подвижности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего;
- на основе экспериментальных данных построить модель зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

### Научное и практическое значение

Научное и практическое значение работы состоит в получении и количественной оценке зависимости прочности закладочной смеси на основе сложного цемента-зольного вяжущего от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

### Апробация работы

Результаты работы доложены на X Международной научно-практической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика», Пенза, ноябрь, 2010 год.

## Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность выполняемой работы, определена ее цель и задачи.

**В первой главе** «Понятие механоактивации. Факторы, оказывающие влияние на эффективность механоактивации» проведен анализ литературных источников с целью ознакомления с понятием «механоактивации» и изучения факторов, которые оказывают влияние на эффективность механоактивации минералов.

Анализ показал, что механоактивация определяется как процесс, при котором происходит изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств минеральных веществ под действием механических сил при диспергировании, причем изменение энергетического состояния относится к гетерофазной системе, твердые компоненты которой подвергались механическому воздействию.

Понятие механоактивации рассматривается с позиции двух моделей: статической и динамической.

Обобщенную модель статической механохимической активации веществ можно представить как маятник, отклоненный на некоторый угол от линии отвеса и заторможенный в этом состоянии путем вмораживания в лед. При любой температуре маятник медленно движется к состоянию нулевого запаса избыточной свободной энергии, но при повышении температуры скорость его движения возрастает, а при температуре выше точки плавления льда маятник освобождается, качнется и вернется в состояние, где избыток свободной энергии равен нулю.

По аналогии со статической динамическую активацию можно представить как маятник, отклоненный от линии отвеса и удерживаемый в отклоненном состоянии благодаря часто следуемым друг за другом импульсам механической энергии. Под действием этих импульсов маятник непрерывно колеблется с вынужденной частотой, оставаясь все время в отклоненном состоянии.

Анализ также показал, что на эффективность механоактивации оказывают влияние минералогический состав измельчаемого материала, длительность процесса измельчения, барометрические и физико-химические характеристики среды измельчения, измельчающий аппарат.

Было принято решение в данной работе измельчение цемента-зольного вяжущего производить в вибрационной мельнице способом мокрого домола. В качестве влияющих факторов рассмотреть соотношение компонентов цемента-зольного теста и время измельчения.

**Во второй главе** «Экспериментальная часть» описан процесс планирования, подготовки и реализации эксперимента, а также представлены результаты обработки полученных данных.

Обработка экспериментальных данных произведена в виде корреляционного и регрессионного анализов.

Корреляционный анализ показал (таблица 1), что в возрасте 28 суток заметное влияние на прочность закладки оказывают зола и вода, высокое влияние

оказывает цемент и слабое влияние оказывает время измельчения; в возрасте 3 месяцев (таблица 2) вода начинает оказывать высокое влияние на прочность закладки; также заметное влияние оказывает зола на воду, так как добавка золы повышает водопотребность смеси; удобоукладываемую смесь можно получить, добавляя большее количество воды, либо увеличивая расход цемента на приготовление большего объема цементного теста; плотность закладки можно повышать, используя большее количество цемента или вводить мелкий наполнитель, например, золу ТЭЦ (рисунок 1).

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа (в возрасте 28 суток)

	цемент	зола	вода	время	прочность
цемент	1				
зола	-0,94106	1			
вода	-0,82304	0,582432	1		
время	0	0	0	1	
прочность	0,710251	-0,67101	-0,58016	0,168965	1

Таблица 2 – Результаты корреляционного анализа (в возрасте 3 месяцев)

	цемент	зола	вода	время	прочность
цемент	1				
зола	-0,94106	1			
вода	-0,82304	0,582432	1		
время	0	0	0	1	
прочность	0,819277	-0,69896	-0,79527	0,247485	1

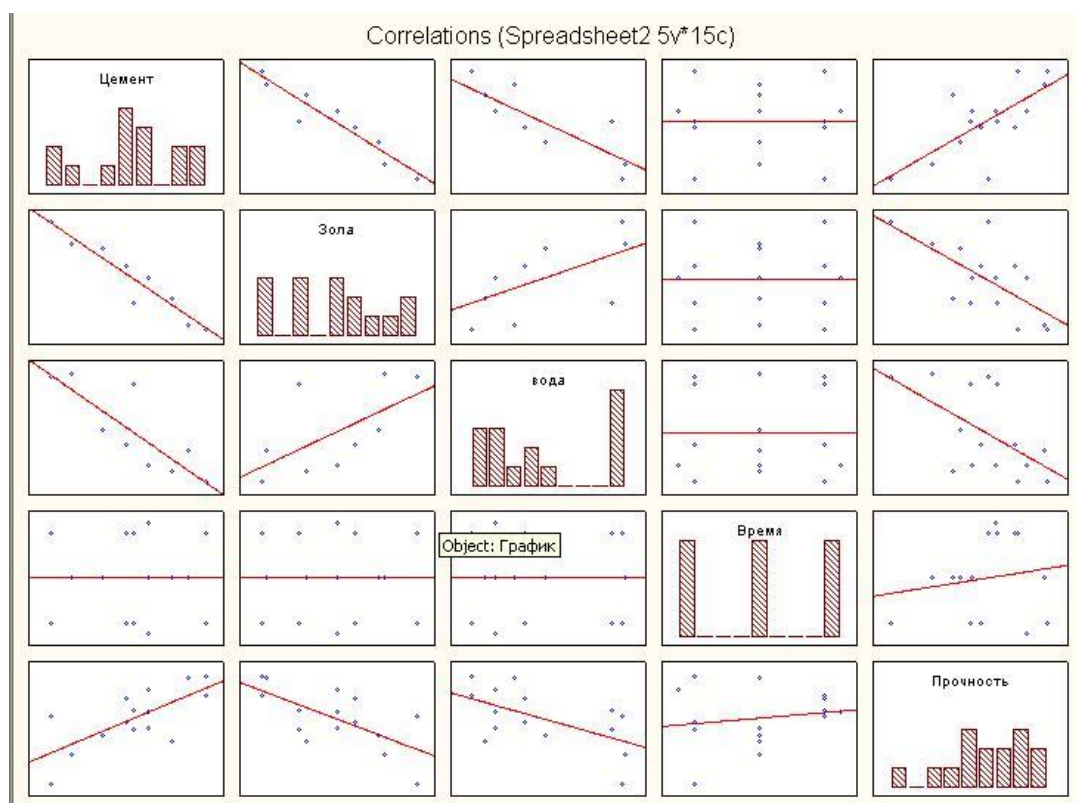


Рисунок 1 – Графики, отражающие корреляционную связь между контролируемыми параметрами (28 суток)

По результатам регрессионного анализа построены модели зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем в возрасте 28 суток (1) и 3 месяцев (2) от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

$$y = 0,86 \cdot x_1 - 0,09 \cdot x_2 - 0,04 \cdot x_3 + 0,54 \cdot x_4, \quad (1)$$

$$y = 1,10 \cdot x_1 + 0,47 \cdot x_2 - 0,66 \cdot x_3 + 0,75 \cdot x_4, \quad (2)$$

Качество полученных моделей регрессии оценили по следующим направлениям:

- проверка качества уравнения регрессии;
- проверка значимости уравнения регрессии.

Результаты оценки таковы:

- коэффициент множественной корреляции  $R$  равный 0,997 в возрасте 28 суток и равный 0,999 в возрасте 3 месяцев показывает высокую тесноту связи зависимой переменной  $y$  – прочности закладки – с четырьмя включенными в модель объясняющими факторами;

- коэффициент детерминации  $R^2$  показывает, что около 99,5 % (в возрасте 28 суток) и 99,8 % (в возрасте 3 месяцев) вариации зависимой переменной учтено в моделях и обусловлено влиянием включенных факторов;

- расчетные значения F-критерия Фишера во много раз превышают его табличное значение, поэтому построенные регрессионные модели значимы.

**В третьей главе** «Технология закладочных работ» описаны назначение закладки и требования к закладочному массиву, организация проведения закладочных работ на рудниках, анализ технологий закладочных работ на рудниках Восточного Казахстана.

Закладка выработанного пространства при подземной добыче руд в Восточном Казахстане получила широкое распространение в поэтажно-камерных (Малеевский, Тишинский и Риддер-Сокольный рудники ТОО «Казцинк») и слоевых (Артемьевский и Орловский рудники корпорации «Казахмыс») системах разработки месторождений цветных металлов.

Зола в качестве компонента сложного вяжущего нашла широкое применение на Артемьевском и Орловском рудниках.

Артемьевский рудник медно-химического комбината корпорации «Казахмыс» введен в эксплуатацию в феврале 2006.

Твердеющая закладка на Артемьевском руднике готовится на поверхностном бетоно-закладочном комплексе (БЗК). Исходными материалами для нее являются:

- сложное вяжущее – цемент и зола;
- инертный заполнитель – дробленая порода;
- затворитель – шахтная вода.

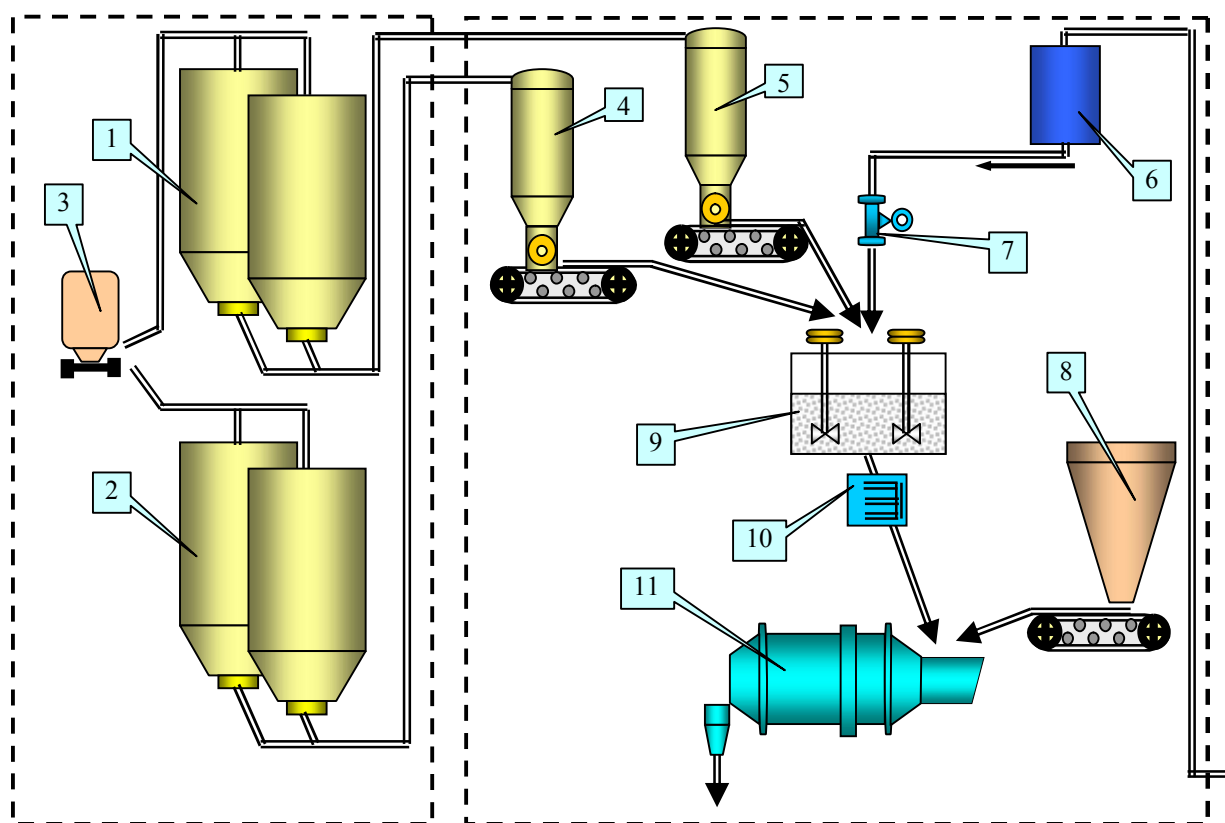
В качестве сложного вяжущего применяются портландцемент марки ПЦ 400 по ГОСТ 10178 и зола Аксуской ТЭС по ГОСТ 25818.

Проведенными расчетами было установлено, что закладочные смеси, изготовленные с использованием продукта дробления только на цементном вяжущем, будут нетранспортабельны. При их транспортировке в самотечном режиме и укладке в горные выработки будут существенные осложнения: закупорка бетоновода, расслоение смеси, недозакладка пустот.

Для обеспечения необходимых реологических свойств смесей, удовлетворяющих условиям трубопроводного транспорта в самотечном режиме, принято решение использовать сложное вяжущее из смеси цемента и золы Аксуской ТЭС.

Технологическая схема БЗК Артемьевского рудника представлена на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, цементно-зольное тесто после перемешивания в смесителе подвергается дополнительной активации с целью более полного использования активных компонентов сложного вяжущего.



- 1 – склад цемента; 2 – склад золы; 3 – цементовоз;  
 4 – расходный бункер золы; 5 – расходный бункер цемента;  
 6 – емкость воды; 7 – расходомер воды; 8 – расходный бункер дробленной породы;  
 9 – смеситель; 10 – активатор; 11 – смеситель

Рисунок 2 – Технологическая схема закладочного комплекса Артемьевского рудника с применением золы

На БЗК Орловского рудника применяется аналогичная схема приготовления цементно-зольного вяжущего в смесителе с последующей активацией.

**В четвертой главе** «Контроль качества закладочных работ» описана полная схема производственного контроля качества закладочных работ, включающая входной контроль поступающих материалов, обеспечение сохранения качества материалов при их хранении, операционный контроль технологического процесса и выходной контроль качества закладочной смеси с последующим контролем фактической прочности закладочного массива.

## **Заключение**

Целью исследования является изучение факторов, влияющих на эффективность механоактивации сложного цементно-зольного вяжущего, и построение модели зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

Для реализации поставленной цели необходимо было выполнить ряд задач:

- ознакомиться с понятием механоактивации минеральных веществ;
- провести литературный обзор с целью изучения факторов, оказывающих влияние на эффективность механоактивации;
- провести экспериментальную работу по исследованию зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего;
- на основе экспериментальных данных построить модель зависимости прочности закладочной смеси на цементно-зольном вяжущем от соотношения компонентов в смеси и времени измельчения сложного вяжущего в вибрационной мельнице.

При выполнении магистерской работы все поставленные задачи были полностью решены. Цель работы достигнута.

## **Список опубликованных работ по теме диссертации**

Ю.П. Чернокульский, И.В. Коломийцева. Оптимизация состава мелкозернистого бетона. // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей X Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. – 224 с.

## ТҮЙІНДЕМЕ

Диссертация нормативті сілтемелер, кіріспе, 4 тараудан тұратын негізгі бөлім, қорытынды, 33 тармақтан тұратын қолданылған әдебиеттер тізімі, өндірістік қадағалаудың құрастырылған сызбасы енгізілген 1 қосымшадан тұрады.

Зерттеу объектісі тығындап бітеу қоспасын дайындау технологиясы болып табылады. Зерттеу пәні ретінде тығындап бітеу құрамы анықталған.

Зерттеу мақсатына күрделі цементті-күлді тұтқырды механикалық белсендету тиімділігі мен қоспаның құрамдас бөліктері мен дірілдеткіш диірмендегі күрделі тұтқырды ұсату уақытының қатынасындағы цемент-күлді тұтқырға тығындап бітеу қоспасының беріктігінің тәуелділік үлгісінің құрылуына ықпал ететін факторларды зерттеу болып табылады.

Зерттеулер әдісі ғылыми-техникалық ақпарат сараптамасы мен ғылыми қорытпасынан, зертханалық зерттеулерден, математикалық статистика әдістерінен тұратын кешенді зерттеу әдісі болып табылады.

Ғылыми-техникалық ақпарат сараптамасы механикалық белсендету үдерісіне ұсатылатын материалдың минералогиялық құрамы, ұсату үдерісінің ұзақтығы, ұсату ортасының барометрлік және физикалық-химиялық сипаттамалары мен ұсату құрылғысының әсер ететіндігін көрсетті.

Регрессиялық сараптама нәтижелері бойынша, қоспаның құрамдас бөліктері мен дірілдеткіш диірмендегі күрделі тұтқырды ұсату уақытының қатынасындағы 28 тәулік және 3 айлық мерзімдегі цемент-күлді тұтқырға тығындап бітеу қоспасының беріктігінің тәуелділік модельдерді құрылды.

Жұмыстың ғылыми және практикалық маңызы қоспаның құрамдас бөліктері мен дірілдеткіш диірмендегі күрделі тұтқырды ұсату уақытының қатынасындағы цемент-күлді тұтқырға тығындап бітеу қоспасының беріктігінің тәуелділігін сандық бағалауды алудан тұрады.

## RESUME

Dissertation consists of normative references, an introduction, main part containing 4 chapters, a conclusion, a list of used sources in 33 points and 1 appendix.

Research object is technology of backfilling mixture preparation. As research subject it is defined the composition of backfilling mixture.

Research purpose is to examine factors affecting the efficiency of mechanical activation of the complex cement-ash astringent, and to build a model showing dependence of the strength of backfilling material, which is based on cement-ash astringent, from the blending ratio and grinding time of the complex astringent in a vibrating mill.

The method of researches is complex, including an analysis and scientific generalization of scientific and technical information, laboratory researches, methods of mathematical statistics.

The analysis of scientific and technical information has shown that mechanical activation efficiency is influenced by mineralogical composition of triturated material, duration of grinding process, barometric and physical-chemical characteristics of triturating environment, grinding device.

According to the results of regression analysis the strength dependence models of cement-ash binder backfilling mixture in the age of 28 days and 3 months from the ratio of the components in the mixture and grinding time of a complex binder in a vibratory mill were constructed.

The scientific and practical importance of work is receiving the dependence quantitative estimation of cement-ash binder backfilling mixture strength from the ratio of the components in the mixture and grinding time of a complex binder in a vibratory mill.