

УДК 622.272

А.Н. Монтянова, Е.Н. Козлов

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ САМОРАЗОГРЕВА
И ТВЕРДЕНИЯ БЕСКЛИНКЕРНЫХ МАССИВОВ
НА ОСНОВЕ НЕГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ ПРИ УСЛОВИИ
ПОЛНОГО ИСКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА НА ЗАКЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ**

Разработаны методика и технология возведения бесклинкерных закладочных массивов, предварительно с помощью математического моделирования установлены требуемые параметры закладываемой выработки.

Ключевые слова: бесклинкерные закладочные смеси, саморазогрев массива, шахтный воздух.

Семинар № 15

**A.N. Montjanova, E.N. Kozlov
APPROPRIATENESS OF THE
SELF-HEATING AND MATURING OF
CLINKER-FREE AREAS ON THE
BASIS OF LIVE LIME ON THE
ASSUMPTION OF THE COMPLETE
EXCEPTION OF PORTLAND
CEMENT CONSUMPTION ON
LAYING WORKS**

The technique and technology of construction of clinker-free laying areas are developed; preliminary by the means of mathematical modelling demanded parameters of laying development are established.

Keywords: clinker-free laying mixes, massif self-heating, mine air.

В 2004 - 2006 гг. рост цен на цемент ежегодно составлял (средние показатели по отрасли [3]) 16 - 20 %. В 2007 г., в связи с оживлением экономики России и повышением уровня жизни ее населения, резко возросли объемы и темпы строительства, увеличилась потребность в строительных материалах и в том числе цемента. Отпускная стоимость цемента в 2007 году за 1 кв. возросла на 4,2 %, за 9 месяцев - в

2,4 раза (средние показатели по отрасли [4], в отдельных регионах - до 5 раз). Основной скачок цен произошел в сентябре-октябре 2007 г. По словам главы Ассоциации строителей России Николая Кошмана на Международном инвестиционном строительном форуме в Москве: «Сегодня цена за тонну цемента перевалила за 8 тысяч рублей, а к концу года, по нашим прогнозам, стоимость цемента может превысить 10 тысяч рублей за тонну» [3].

В условиях постоянно возрастающей стоимости портландцемента наиболее предпочтительными в использовании становятся закладочные смеси на основе обожженных карбонатных пород (негашеной извести), полностью исключая потребление портландцемента на закладочные работы. Карбонатные породы, как правило, являются распространенным местным материалом, на основе которого рудниками самостоятельно может быть организовано производство бесклинкерных закладочных смесей. Закладочные смеси и возведенные из них твердеющие массивы на-

званы бесклинкерными, поскольку при их формировании не используется молотый цементный клинкер, в т.ч. портландцемент. Техническое решение защищено 5 патентами и отмечено золотой медалью на международном салоне «Архимед – 2006» в г. Москве.

Разработанный и запатентованный в 90-х годах прошлого столетия институтом Якутнипроалмаз способ формирования бесклинкерных закладочных массивов имеет ряд отличительных особенностей, обеспечивающих достижение нормативной прочности закладки в выработанном пространстве от 0,5 до 13,0 МПа.

Транспортабельность закладочных смесей на основе негашеной извести, свободное растекание, саморазогревание и твердение с увеличением объема в выработанном пространстве достигается их затворением не водой, а мало концентрированным раствором флегматизатора, замедляющего реакцию способностью обожженных карбонатных пород на время технологических операций по возведению искусственных массивов. Прочность бесклинкерной закладки одного и того же вещественного состава существенно изменяется в зависимости от температурных условий твердения. Температура, развивающаяся в закладочных массивах во время твердения в выработанном пространстве, зависит от содержания обожженных карбонатных пород (негашеной извести) в составах закладочных смесей и геотермических зон возведения искусственных массивов. Достижение требуемых механических характеристик искусственного массива в каждой из геотермических зон с минимальными затратами обеспечивается регулированием темпов его саморазогрева и охлаждения в процессе твердения с помощью дозы и

степени гидратации обожженных карбонатных пород.

На рисунке приведены технологические данные, учитываемые при назначении расхода обожженных карбонатных пород (тепловыделяющего компонента) в составах закладочных смесей.

Температура закладочных массивов в условиях подземного рудника не постоянна и изменяется в зависимости от ряда факторов [1]:

$$T = f [T_{\text{ЗН}}; T_{\text{ГН}}; T_{\text{ЗК}}; T_{\text{В}}; Q_3 (B, Q, M, \tau); \lambda_{\text{М}}; \lambda_{\text{З}}; \lambda_{\text{В}}; \lambda_{\text{П}}; C_{\text{М}}; C_{\text{З}}; V_{\text{В}}; h; X] \quad (1)$$

где T - температура закладки в заданной точке; $T_{\text{ЗН}}$; $T_{\text{ГН}}$; $T_{\text{ЗК}}$ - начальная температура свежееположенной закладки, горного массива и закладочного массива, обнажаемого в стенке (для выработок второй и третьей очереди), соответственно; $T_{\text{В}}$ и $V_{\text{В}}$ - температура и скорость воздуха при проветривании выработок; Q_3 - тепловыделение закладочного массива при гидратации вяжущего; M ; B ; Q - минералогический состав тепловыделяющего компонента закладки, его расход и тепловыделение; τ - время твердения закладки; $\lambda_{\text{М}}$; $\lambda_{\text{З}}$; $\lambda_{\text{В}}$; $\lambda_{\text{П}}$ - коэффициенты теплопроводности горного массива, закладки, воздуха в горных выработках, перемычки соответственно; $C_{\text{М}}$; $C_{\text{З}}$ - теплоемкости горного массива и закладки соответственно; h - высота возводимого слоя закладочного массива; X - пространственная координата.

Анализ и обобщение температурных и технологических условий формирования закладочных массивов, а также результаты исследований позволили классифицировать условия возведения искусственных массивов на типовые геотермические зоны. В качестве основных классификационных признаков приняты внешние (по отношению к искусственному массиву) параметры, наиболее существенно влияющие на интенсивность его са-

морозогрева и охлаждения: температура горного и искусственного массивов, шахтного воздуха, соленасыщенность пород (рисунок).

Выделены пять геотермических зон: I – отрицательная температура незасоленного горного массива и шахтного воздуха; II – отрицательная или низкая положительная температура соленасыщенного горного массива, низкая положительная температура шахтного воздуха; III – отрицательная или низкая положительная температура незасоленного горного массива, низкая положительная температура шахтного воздуха; IV – температура незасоленного горного массива и шахтного воздуха близка температуре нормальных условий; V – температура горного массива и шахтного воздуха не влияет на условия возведения массива, условия твердения близки к адиабатическим.

Для определения температуры бесклинкерных закладочных массивов в геотермических зонах I–V методами математического планирования расчетов и статистической обработки их результатов получены зависимости вида:

$$T_t = b_0 + b_1 T_{гн} + b_2 B_{и} + b_3 h + b_4 T_{гн} B_{и} + b_5 T_{гн} h + b_6 B_{и} h, \quad (2)$$

где T_t – средняя или текущая температура закладочного массива в расчетной точке через t суток твердения; $b_0 \dots b_7$ – эмпирические коэффициенты, полученные с использованием математической обработки результатов расчетов. Диапазон изменения факторов $T_{гн}$, $T_{зн}$, $B_{и}$, h и соответствующий присвоенный им уровень представлены в табл. 1.

Относительная прочность бесклинкерных закладочных массивов на основе негашеной извести зависит от текущей температуры массива и рассчитывается по формуле

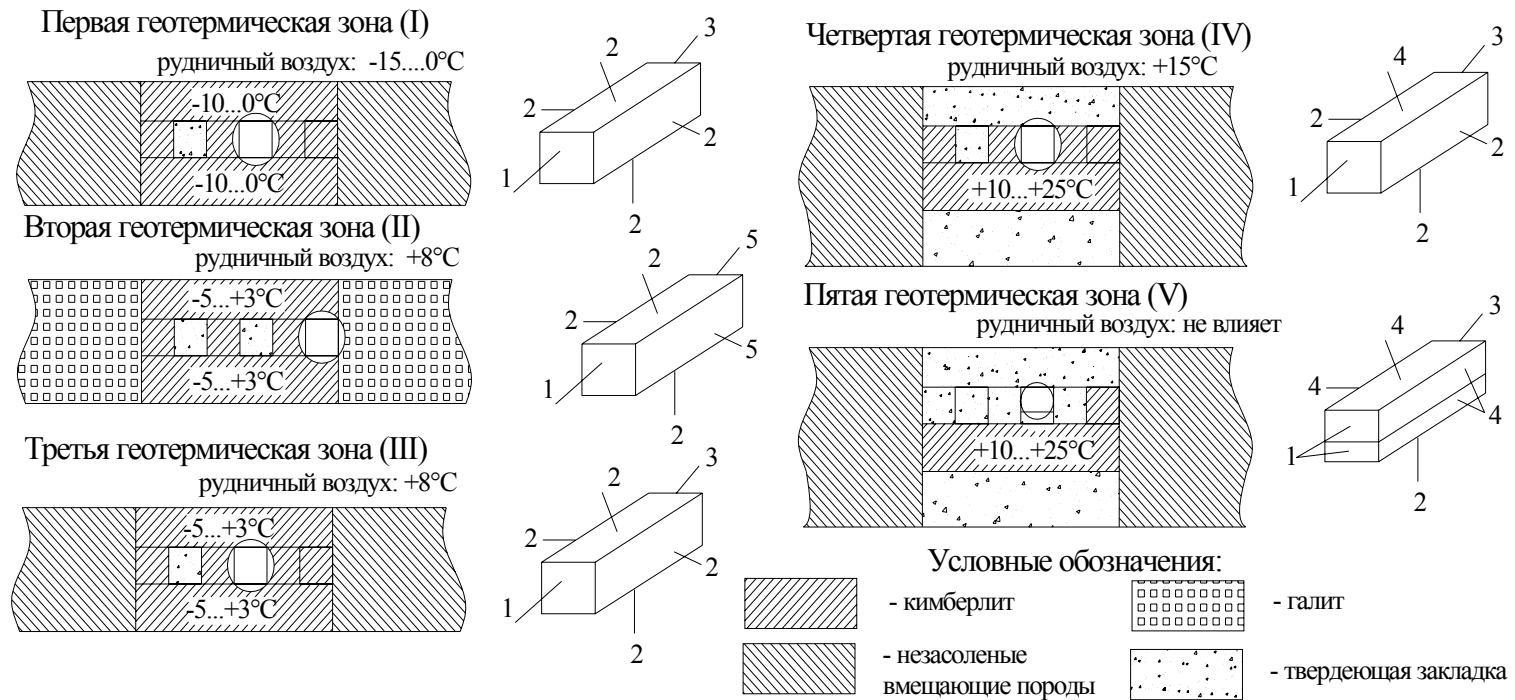
$$\sigma_{28} = \Delta\sigma_{0+1} + \Delta\sigma_{1+2} + \Delta\sigma_{2+7} + \Delta\sigma_{7+14} + \Delta\sigma_{14+28}, \quad (3)$$

где σ_7 , σ_{28} – относительная прочность цементной, клинкерной или бесклинкерной закладки, % от марочной прочности (прочность закладки при твердении в нормальных условиях в возрасте 28 сут) за расчетный промежуток времени, например 7 или 28 сут твердения; T_7 , T_{28} – средняя температура закладочного массива в расчетной точке (периферийная часть массива) в первичных выработках за расчетный период 7 или 28 сут; $\Delta\sigma_{0+1} + \Delta\sigma_{1+2} + \Delta\sigma_{2+7} + \Delta\sigma_{7+14} + \Delta\sigma_{14+28}$ – увеличение относительной прочности бесклинкерной закладки за периоды 0–1, 1–2, 2–7, 7–14 и 14–28 сут соответственно при текущих температурах твердения в возрасте 1, 2, 7, 14 и 28 сут (табл. 2).

В 2007 г. авторами разработан пакет программных продуктов для оперативного прогнозирования температуры и прочности бесклинкерных закладочных массивов, твердеющих в различных геотермических условиях рудников. При этом результирующая зависимость для расчета относительной прочности закладочных массивов, твердеющих в шахтных условиях, в различные периоды после формирования (τ_n , τ – первые и расчетные сутки) аппроксимируется выражением:

$$\begin{aligned} \sigma_{отн} = & 12757,7e^{-0.01771(me^{st} + re^{pt})} - \\ & - 12840,6e^{-0.01797(me^{st} + re^{pt})} + \\ & + \int_{\tau_n}^{\tau} (-108,834e^{-0.2432\tau} - \\ & - (-2,31885(me^{st} + re^{pt}) - \\ & - 44,9481)e^{(-0.0015(me^{st} + re^{pt}) - 0.14103)\tau}) d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

где τ – текущее время; τ_n – время начала твердения закладки; m , s , r , p – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов, после расчетов значений функции $T(t)$ по уравнениям (4).



Схемы к классификации геотермических зон твердения закладочных массивов при развитии горных работ во времени и в пространстве месторождений при твердеющего массива: 1 – с воздухом через перемычку; 2 – с рудным массивом (например, кимберлит); 3 – с незасоленной вмещающей породой; 4 – с твердеющей закладкой; 5 – с галогенными породами

Таблица 1
Диапазон изменения факторов, влияющих на температуру закладочного массива

Фактор	Условное обозначение	Уровень варьирования*		
		верхний, +1	средний, 0	нижний, -1
Начальная температура горного массива, °С	$T_{гн}$	+3/+25	-1/+17,5	-5/+10
Расход тепловыделяющего компонента (негашеной извести) на 1м ³ закладки, кг	$B_{и}$	200/200	150/120	100/40
Мощность одновременно возводимого искусственного массива, м	H	5,0/5,0	3,0/3,0	1,0/1,0

*В числителе – уровень для геотермических зон I, II и III, в знаменателе – для зон IV и V.

Таблица 2
Матрица для расчета относительной прочности бесклинкерных закладочных массивов на основе негашеной извести

№ п/п	Температура твердения, °С	Относительная прочность закладки (% от марочной) при твердении в течение						
		1 сут	2 сут	3 сут	5 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	70	50	120	173	250	269	315	315
2	50	35	79	105	150	211	268	315
3	40	18	35	50	125	145	200	250
4	30	10	20	32	65	78	128	171
5	20	0	7	18	20	27	68	100
6	14	0	0	12	14	19	51	77
7	8	0	0	5	6	10	35	54
8	2	0	0	0	0	5	15	45

Разработанные институтом Якутнипроалмаз методика и технология возведения бесклинкерных закладочных массивов прошли опытно-промышленную апробацию в условиях действующего рудника «Айхал» в 2000 г.[2]. Предварительно с помощью математического моделирования были установлены требуемые параметры закладываемой выработки. Выявлено, что с целью подтверждения всех наработанных закономерностей формирования новых закладочных массивов, достаточно сформировать в условиях выработанного пространства искусственный массив с геометрическими параметрами 3х3х3 м. В более масштабных закладочных массивах будут иметь место те же тепловые и прочностные поля, изменяется лишь их протяженность.

Приготовленная закладочная смесь, включающая обожженные карбонатные породы, туфовые породы и раствор флегматизатора транспортировалась в выработку по трубопроводу. Температура в различных точках искусственного массива фиксировалась с помощью предварительно установленных в выработку термогирлянд, а прочность закладочного массива устанавливалась с помощью кернового опробования [2]. В процессе твердения сформированного на руднике «Айхал» закладочного массива зафиксирована его максимальная температура разогрева (через 12 часов) 54 °С – в центре и 32 °С – на контакте с горным массивом криолитозоны. Прочность массива в возрасте 28 суток твердения увеличивалась от периферии к центру от 3 до 8 МПа.

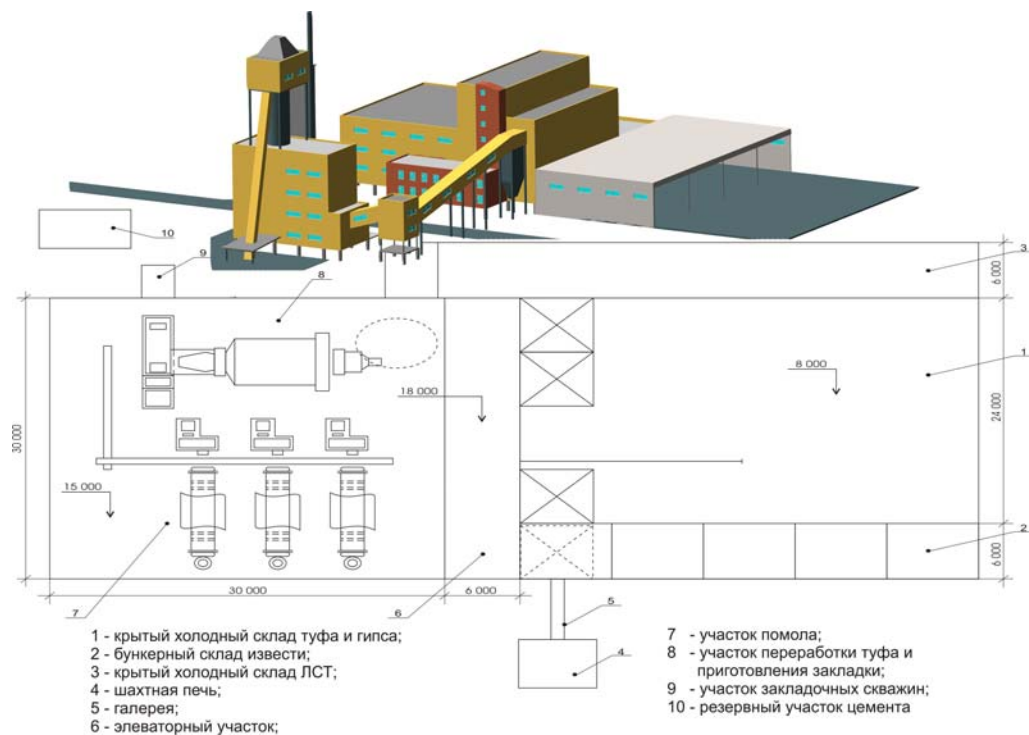


Рис. 2. Укрупненная технологическая схема производства бесклинкерной закладочной смеси на руднике «Айхал»

Позднее, в 2003 г., специалистами Учалинского ГОКа и Магнитогорского государственного технического университета был выполнен более масштабный эксперимент по опробованию нового способа возведения закладочного массива. На Учалинском подземном руднике сформирован искусственный массив в объеме 5300 м³ из закладочных смесей на основе негашеной извести и доменных шлаков. Максимальная температура разогрева закладочного массива составила 42 °С, прочность 2,6 – 7 МПа (увеличивается от периферии к центру).

Результатами промышленных экспериментов на рудниках «Айхал» и «Учалинский» были подтверждены основные свойства закладочных смесей и массивов на основе обожженных

карбонатных пород (негашеной извести). Зафиксированы: возможность транспортирования новых смесей по трубопроводу в самотечном режиме; свободное растекание в выработанном пространстве; отсутствие водоотделения, слоистости и усадки искусственного массива. Последнее особенно важно при нисходящем порядке выемки руды, поскольку исключается необходимость борьбы с недокладкой, что повышает интенсивность горных работ и обеспечивает их безопасность. Установлено интенсивное саморазогревание закладочных массивов в течение первых трех - пяти суток твердения и последующее их остывание вследствие теплообменных процессов с горным массивом и шахтным воздухом. Подтверждено

определяющее значение температуры на прочность закладочного массива, в результате чего достигается ранняя прочность, формируется разнопрочная, но не слоистая структура массива с увеличением прочности от периферии к центру.

Новое техническое решение внедрено в проект подземного рудника «Айхал». Принципиальная схема принятой к использованию технологии производства бесклинкерных закладочных смесей представлена на рис. 2.

С июня 2008 г. запланирована реконструкция временного закладочного комплекса рудника, что позволит, после второго этапа реконструкции,

произвести переход на формирование бесклинкерных закладочных массивов и полностью исключить потребление привозного портландцемента на закладочные работы. Экономическими расчетами выявлено, что производственная себестоимость возведения новых бесклинкерных закладочных массивов в 2 раза ниже, чем цементных с аналогичной нормативной прочностью. Расчеты выполнены в уровне цен 2004 г. Очевидно, что в условиях нынешнего удорожания цемента экономическая эффективность использования нового технического становится более выраженной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Монтянова А.Н.* Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. - М.: Горная книга, 2005. - 597 с.

2. *Монтянова А.Н.* Опробование бесцементных закладочных смесей на алмазодобывающем руднике «Айхал»//Горный журнал, 2002. - № 3. - С.36-38.

3. *Информационное агентство «Интерфакс-недвижимость».* Сайт в интернете. - Москва, 2007.

4. *Информационно-издательский бюллетень* фирмы «Цена-Информ»/ Цена Дайджест. - Москва, 2007. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Монтянова А.Н. – доктор технических наук, зав. лабораторией технологий закладки института Якутнипроалмаз, info@alrosa.ru

Козлов Е.Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник горного отдела института Гипроникель, тел. (812) 335-31-01.

