

УДК 534.283

**А.Н. Монтянова, М.С. Гаркави, Н.С. Косова**

## **СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВОК В ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЯХ**

*Выявлены возможности улучшения свойств формируемых закладочных массивов и экономических показателей их возведения с помощью новых добавок, используемых в строительстве.*

*Ключевые слова:* закладочные смеси, пластифицирующие добавки, заполнитель, бетон.

**Семинар № 15**

---

**A.N. Montynova, M.S. Garkavi,  
N.S. Kosova**

### **THE SPECIFIC CHARACTERISTICS AND THE EFFECTIVENESS OF THE IMPLEMENTATION OF THE ADDITIONS IN THE STOWING BLEND**

*The possibilities for the improvement of the characteristics of the stowing rock masses and the economical parameters of their building through implementation of new additives used in the civil engineering are found out.*

*Key words:* stowing blends, water reducing admixtures, filling, concrete.

**К**ак известно, приготовление закладочных смесей наиболее часто осуществляется в условиях поверхностных закладочных комплексов в непрерывном режиме с высокой часовой производительностью (25÷400 м<sup>3</sup>/ч). Далее смеси транспортируются по трубопроводу на протяженные расстояния (до 3 км) в самотечном режиме, заполняют выработанное пространство с повторением контуров рудного тела и обеспечивают нормативную прочность закладочных массивов к моменту обнажения горными выработками.

По составу закладочные смеси близки к растворам и бетонам, поскольку при их изготовлении применяются: вяжущее, заполнитель, вода и, возможно - добавки, улучшающие свойства композиций.

Однако в отличие от бетонов и растворов закладочные смеси имеют специфические особенности, которые вносят свои корректировки в применение добавок:

1. Подвижность, определяемая по погружению конуса "СтройЦНИИЛа" 13-14 см (по полному погружению [1]), т.е. более высокая;

2. Содержание тонкодисперсных фракций (менее 0,14 мм) в используемом заполнителе составляет ~ 30 %, что значительно превышает показатели для заполнителей бетонов (не более 2 %, ГОСТ 8736 и 8267);

3. Водо-цементное (В/Ц) отношение, считающееся в строительстве фактором, определяющим прочность, у бетонов и растворов варьирует от 0,2 до 1,0; в закладочных смесях – от 1,0 до 4,0. Причем, если в строительстве зависимость прочности от В/Ц близка к линейной, то в закладочных смесях – выраженная квадратичная и влияние В/Ц на прочность в гранич-

ных диапазонах кривой не существенно;

4. Содержание цемента в закладочных смесях, относительно бетонов – пониженное (100-300 кг/м<sup>3</sup>), т.к. требуемая прочность характеризуется невысокими показателями – от 0,5 до 10 МПа;

5. В силу необходимости транспортирования закладочных смесей на значительные расстояния по трубопроводу в самотечном режиме недопустимо применение ускорителей твердения, сокращающих сроки схватывания смеси или "темпер старения", как принято характеризовать данное свойство у закладчиков;

6. Закладочные смеси и добавки, как составляющая их часть, не должны выделяться в шахтную атмосферу опасные для здоровья вещества.

7. Объем производства закладочных смесей значительно превышает объемы производства бетонов и растворов в строительстве и это обуславливает необходимость организации масштабных теплых складов для хранения добавки, что сопряжено со значительными капитальными затратами. Вместе с тем, опытом работы с перемерзающими материалами в северных условиях выявлено, что зачастую даже при наличии теплых складов, композиции полностью направляются в отход после аварийных отключений электроснабжения. Рисковать работоспособностью закладочных комплексов и, соответственно планами добычи, не представляется возможным. Следовательно, для рудников, расположенных в условиях Крайнего севера и поставляющих материалы по навигации, недопустимо применение добавок, утрачивающих свои свойства при перемерзании.

В настоящее время при производстве закладочных смесей добавки ис-

пользуются крайне редко. Данные о результатах исследований в этой области скучны. Известны единичные случаи применения пластификаторов, в т.ч. внедрение и успешное использование лигносульфоната технического (ЛСТ) на алмазодобывающих рудниках АК «АЛРОСА». ЛСТ – побочный продукт переработки древесины. Состав по компонентам, % мас.: лигносульфонат натрия – 66-71, сахара – 10-12, натриевые соли сернистой кислоты 12-14. ЛСТ широко применяются в качестве пластификатора цемента и разжижителя шлама в строительной промышленности. Условия хранения порошкообразного лигносульфоната технического: в не отапливаемых закрытых проветриваемых помещениях.

Исследованиями, выполненными институтом Якутнипроалмаз в 90-х годах, установлено, что доза добавки ЛСТ в составах закладочных смесей зависит от качества используемого заполнителя и расхода цемента в смеси. Роль лигносульфоната – обеспечить пластичность и водоудерживающую способность смеси при выбывающем количестве цемента, являющимся пластичным и водоудерживающим материалом.

При достаточном количестве тонкодисперсных фракций в составе заполнителя (~ 30 % фракций менее 0,08 мм), доза лигносульфоната по отношению к цементу увеличивается по мере убывания последнего, при этом в составе закладочных смесей доза лигносульфоната остается постоянной.

В случае если тонкодисперсных фракций недостаточно (природный мелкозернистый песок месторождения "Прикарьерное") количество ЛСТ в составе закладочных смесей сущест-

венно возрастает и определяется по формуле:

$$Q_d = 4,3 - 0,0045 Q_u, \quad (1)$$

где  $Q_d$  – расход добавки в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_u$  – расход в составе закладочной смеси портландцемента, кг/м<sup>3</sup>.

Эффективность использования лигносульфоната технического при производстве закладочных смесей подтверждена практикой на рудниках АК «АЛРОСА». В условиях рудника «Интернациональный» установлено, что применение лигносульфоната технического позволяет увеличить растекаемость закладочных смесей в выработанном пространстве с 40 до 80 м, снижает водоотделение от закладочного массива в два раза и повышает прочность закладки эквивалентно ~ 30 кг портландцемента. В условиях рудника «Айхал» дополнительно зафиксировано, что смеси с ЛСТ самотеком освобождают трубопровод до начала его промывки (угол наклона горизонтального участка 2°).

Целью исследований, результаты которых изложены в данной работе, являлось выявление возможности улучшения свойств формируемых закладочных массивов и экономических показателей их возведения с помощью новых добавок, используемых в строительстве. При этом за базу сравнения принимались внедренные и используемые на рудниках АК «АЛРОСА» составы закладочных смесей, содержащие добавку ЛСТ в приведенных выше дозах.

Среди многочисленных добавок, применяемых в технологии бетона, наиболее интересны с позиции использования при производстве закладочных смесей пластифицирующие добавки, позволяющие сохранить требуемую подвижность смесей при снижении их водопотребности, повысить их растекаемость и физико-

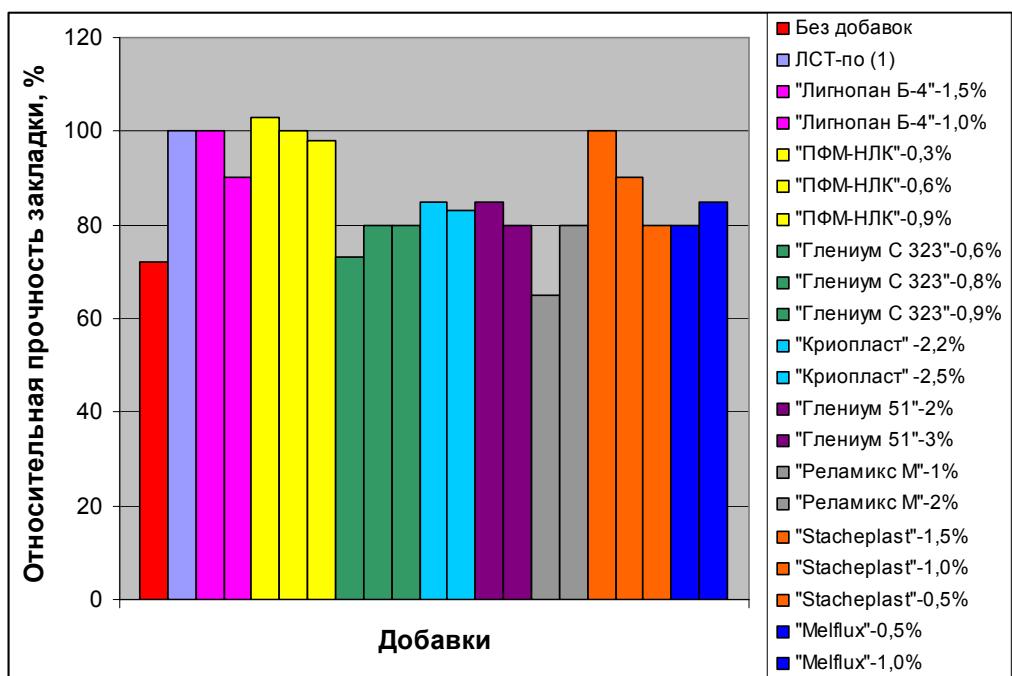
механические показатели в различные сроки твердения. Механизм действия классических пластификаторов основан на адсорбционном взаимодействии с тонкодисперсными частицами и продуктами гидратации цемента. Следствием этого является создание структурированного гидратного слоя вокруг частиц твердой фазы, сглаживание микрорельефа зерен тонкодисперсных частиц и снижение коэффициента внутреннего трения шламовой части смесей, изменение дзета-потенциала коллоидных частиц и повышение агрегативной устойчивости шламовой части смесей [2, 3]. Наибольшую известность получили следующие органические поверхностно-активные вещества, используемые в качестве классических пластифицирующих добавок: лигносульфонаты щелочных и щелочно-земельных металлов, в том числе модифицированные, гидроксикарбоновые кислоты и их соли, соли многоосновных кислот, углеводы и их производные.

В конце 70-х годов разработаны, исследованы и прошли производственное испытание высокоеффективные пластификаторы бетонной смеси – суперпластификаторы (синтетические анионактивные добавки нафталин- и меламин-формальдегидного типа), которые по своему пластифицирующему воздействию на бетонную смесь значительно сильнее классических пластификаторов [4]. Пластификаторы и суперпластификаторы значительно отличаются по характеру адсорбции: классические ПАВ, адсорбируясь на границе вода – воздух, значительно понижают поверхностное натяжение воды, вызывая дополнительное воздушкововлечение в бетонную смесь [7]; суперпластификаторы адсорбируются на границе вода – твердая фаза, поэтому они незначительно влияют на

поверхностное натяжение жидкой фазы, а их действие обуславливается диспергирующим эффектом, т.е. существенным увеличением доли мелких частиц в системе [6]. Соответственно, введение суперпластификаторов практически не вызывает воздухововлечения при приготовлении растворных и бетонных смесей, что характерно для обычных пластифицирующих добавок [6]. Увеличение действующей поверхности частиц в результате дезагрегации цементных систем приводит к установлению большего числа контактов между взаимодействующими частицами, более интенсивному срастанию, компенсируя возможное замедляющее влияние суперпластификаторов на процессы гидратации и структурообразования цемента [6].

В последние годы на рынке пластифицирующих добавок появились также высокоэффективные модификаторы на основе поликарбоксилатов, так называемые гиперпластификаторы [5]. Принцип действия таких пластификаторов – электростатическое диспергирование – основывается на сильном смещении  $\xi$  - потенциала частиц вяжущего в отрицательную область. Диспергирование частиц вяжущего происходит в самом начале гидратации, при этом имеет место хемосорбция молекул пластификатора на поверхности частиц вяжущего. Действие пластификаторов нового поколения основано на совокупности электростатического и пространственного эффекта, который достигается с помощью боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира. В зависимости от условий синтеза получают поликарбоксилаты с различными длинами боковых полиэфирных цепочек, которые обладают сильным водорецирующим эффектом.

В работе приведены результаты опробований в закладочных смесях наиболее часто используемых в строительстве или рекламируемых добавок: 1 - *Суперпластификатор «С-3»* на основе натриевой соли продукта конденсации нафталинсульфонокислоты и формальдегида; 2 - Пластифицирующая и упрочняющая добавка *«Конкремол»* для цементных, цементно-песчаных и тампонажных растворов, созданная на основе водополимерных систем высокомолекулярного N-виниламида со 100% растворимостью в воде; 3 - *Гиперпластификатор «Глениум С 323 Mix (FM)»* на базе нового поколения поликарбоксилатных эфиров (производитель – фирма BASF, добавки утрачивают свои свойства при перемерзании); 4- *Гиперпластификатор «Глениум 51 (FM)»* на базе поликарбоксилатного эфира для бетона с быстрым нарастанием прочности, обладает исключительным диспергирующим действием (производитель – фирма BASF); 5 - Ускоритель-пластификатор *«Лигнолан Б-2»* на основе фракционированных лигносульфонатов, суперпластификаторов, нафталин- или меланин-сульфонокислоты, тиосуфата натрия, роданистого натрия, карбонатов натрия или лизия, пеногасителей и простых эфиров целлюлозы; 6 - Противоморозно - пластифицирующая добавка *«Лигнолан Б-4»*; 7 - Полифункциональный модификатор бетона, относящийся к классу сильно пластифицирующих добавок *«ПФМ-Н/К»* на основе пластифицирующих и воздухововлекающих компонентов, содержит в своем составе суперпластификатор «С-3», лигносульфонаты технические и жидкость кремний-органическую ГКЖ; 8 - Суперпластификатор *«КРИОПЛАСТ СП15-2»* – смесь натриевых солей полиметилен-нафталинсульфонокислот различной молекулярной массы с добавлением про-

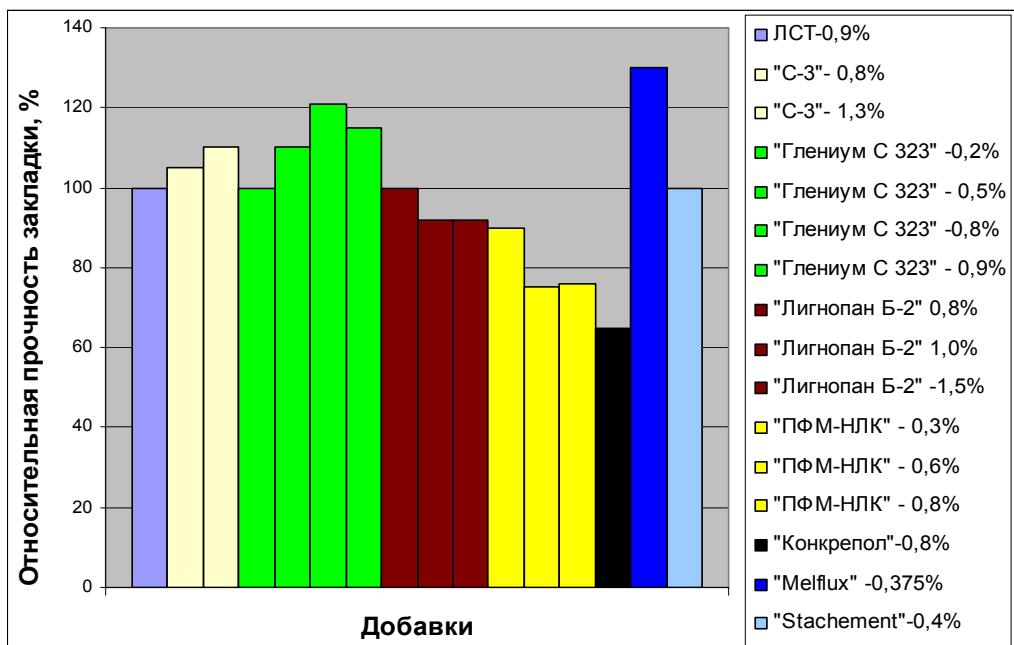


**Рис. 1. Влияние добавок на прочностные показатели закладки на основе мелко-зернистого песка**

тивоморозного комплекса на основе промышленной смеси роданида и тиосульфата натрия; 9 - Суперпластификатор и ускоритель набора прочности «РЕЛАМИКС-М» состоит из натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением комплекса ускоряющего набор прочности; 10 - Многокомпонентная тонкодисперсная сухая смесь *LIMIL-4*; 11 - Модификатор бетона серии МБ (МБ 10-01) представляет собой порошкообразный продукт на органо-минеральной основе, содержащий в своем составе микрокремнезем конденсированный и пластификатор «С-З»; 12 - Пластификатор на основе модифицированного лигносульфоната *Stacheplast*; 13 - Суперпластификатор на базе модифицированных меламиновых полимеров *Stachment MM*; 14 - Гиперпла-

стификатор *Melflux* представляет собой порошок модифицированного полиэфиркарбоксилата, полученный методом распылительной сушки (производитель трех последних добавок – фирма «Stachema Kolin», Чехия).

Рассмотрена также целесообразность использования при производстве закладочных смесей минерального вяжущего «Микродур» и цемента «Макфлоу». На алмазодобывающих рудниках Якутии повсеместно распространены подземные минерализованные воды и соленасыщенные породы, являющиеся агрессивными по отношению к цементам. Ввиду несизмеримо высокой стоимости первого (в 30 раз выше портландцемента) и недопустимости проникновения в смесь на основе второго агрессивных



**Рис. 2. Влияние добавок на прочностные показатели закладки на основе диабазовых пород («мельничный» способ получения закладочных смесей)**

компонентов, исследования признаны безосновательными.

Испытания добавок проводились в составе закладочных смесей на основе портландцемента марки М400 Якутского цементного завода. В качестве заполнителя использовались мелкозернистый песок месторождения «Прикарьерное» или диабазовые породы, подготовленные по «мельничной» технологии. Фиксировались: плотность закладочных смесей, вязкость на ротационном вискозиметре Брукфильда, растекаемость по вискозиметру Суттарда; подвижность по полному погружению конуса СтойЦНИИла [1], предел прочности при одноосном сжатии образцов. Образцы закладочных смесей с добавками и без них хранились в идентичных температурных и влажностных условиях.

Анализом полученных результатов выявлено, что эффективность использования добавок во многом определяется видом заполнителя закладочных смесей.

Из данных, приведенных на рис. 1. следует, что в закладочных смесях на основе мелкозернистого песка месторождения «Прикарьерное» с большим содержанием глинистых частиц использование супер- и гиперпластификаторов не эффективно. Это обусловлено тем, что добавки вызывают диспергирование не только частиц вяжущего, но и глинистых частиц, что приводит к увеличению, а не снижению водопотребности закладочных смесей. В смесях с большим содержанием воды не реализуется водоре-дирующее действие супер- и гиперпластификаторов [4]. В то же время лигносульфонаты в таких системах проявляют пластифицирующий эф-

Таблица 1  
**Влияние температуры твердения на прочность закладки**

№ п/п	Вид добавки	Прочность при сжатии, МПа		
		8°C	20°C	50°C
1.	ЛСТ	3,7	6,6	8,6
3.	Melflux	4,2	8,4	9,5

Таблица 2  
**Влияние гиперпластификаторов на плотность закладочных смесей**

Вид добавки	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>				Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр расстекания, см
	Добавка	Цемент	Вода	Диабаз		
ЛСТ	1,2	103	371	1614	2090	18
Melflux	0,6	94	338	1801	2234	20
ЛСТ	1,2	323	392	1436	2153	19
Melflux	0,6	300	361	1554	2217	20

фект. Это объясняется тем, что лигносульфонаты в данном случае оказывают на песок дефлокуляционное воздействие, которое зависит от их адсорбционной способности на поверхности минеральных частиц [7]. В водном растворе ионизированный лигносульфонат легко адсорбируется на поверхности глинистых частиц, сообщая им отрицательный заряд. При этом зона положительных зарядов окружает отрицательно заряженную частицу. Такой двойной электрический слой заставляет частицу отталкиваться друг от друга, что поддерживает всю систему в дисперсном и подвижном состоянии [7].

В смесях на основе диабазовых пород при использовании гиперпластификаторов наблюдается повышение прочности закладки: гиперпластификаторы "Глениум С 323" и Melflux (увеличение прочности на 20 - 30 %), рис. 2. Причем, наиболее эффективно их применение в жирных смесях, т.е. в смесях с повышенным расходом портландцемента.

На ряде месторождений закладочные работы производятся в условиях

отрицательных или низких положительных температур горного массива и шахтного воздуха [1]. В выработанном пространстве цементные закладочные массы саморазогреваются (~ 40–60 °C), а затем, вследствие теплообменных процессов, остывают. Поэтому исследовано влияние пониженных и повышенных температур твердения на прочность закладки (8, 20 и 50°C) (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что при повышенной и пониженной температуре твердения (50 °C и 8 °C) влияние гиперпластификаторов на прочность закладочного массива снижается. Это согласуется с известным положением об отрицательном влиянии температур на прочность цементных систем с пластификаторами данного типа [6]. Установлено, что применение гиперпластификаторов обеспечивает увеличение плотности закладочных смесей (табл. 2). Отмеченное объясняется тем, что введение супер- и гиперпластификаторов практически не вызывает воздухововлечения при приготовлении рас-

Таблица 3  
**Стоимость материалов с учетом их доставки  
на рудник «Айхал» (уровень цен 2007 г.)**

Матери- ал	Стоимость ма- териалов от изготовителя, цена I кв. 2007 г.	Расходы по доставке материалов на рудники АК «АЛРОСА», %				Итого стоимость
		Вне шние	Складс- кие	Внутри- системные (Айхал)	Админист- ративно - управлен- ческие	
ЛСТ	17000,0	42	5,5	13,9	2,5	27880,0
Melflux	125000,0	42	5,5	13,9	2,5	205000,0
Цемент M 400	2932,8	62	5,5	13,9	2,5	5320,1

Таблица 4  
**Изменяемая часть себестоимости закладочных смесей  
на основе диабаза и добавок ЛСТ или Melflux**

Наименование применяемой добавки	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			Стоимость материалов для приготовления 1 м <sup>3</sup> смеси, руб			Изменяемая часть сбе- стоимости смесей, руб/м <sup>3</sup>
	Добавка	Цемент	Диабаз	Добавка	Цемент	Диабаз	
ЛСТ	1,2	103	1614	33,5	555,8	645,6	1234,9
Melflux	0,6	94	1801	123,0	507,3	720,4	1350,7
ЛСТ	1,2	323	1436	33,5	1743,0	574,4	2351,2
Melflux	0,6	300	1554	123,0	1618,9	621,6	2363,5

творных и бетонных смесей, что характерно для обычных пластифицирующих добавок [2].

На примере рудников АК «АЛРОСА» укрупнено оценена экономическая эффективность применения гиперпластификаторов при производстве закладочных смесей. С учетом транспортных, складских расходов и НДС стоимость добавок ЛСТ и Melflux приведена в табл. 3. АК «АЛРОСА» осуществляет доставку основных материалов в период навигации, т.е. заключает договора на приобретение цемента заблаговременно, большей частью в 1 кв. текущего года. Поэтому рудники АК «АЛРОСА» не в полной мере ощутили повышение цен на портландцемент, произошедшее осенью 2007 г.

Поскольку использование гиперпластификатора «Melflux» сопряжено с повышенным расходом заполнителя в составах закладочных смесей, в табл. 4 учтена стоимость диабазового щебня на руднике «Айхал» - 400 руб/т (уровень цен 2007 г.).

Из табл. 4 следует, что при применении Melflux стоимость закладочных смесей несколько возрастет, а не уменьшается.

Экономия цемента в смесях составляет 9-23 кг/м<sup>3</sup>, а изменяемая часть себестоимости смесей увеличивается на 12-115 руб/м<sup>3</sup>. Данный факт обусловлен не только высокой стоимостью добавки, но и повышенной плотностью получаемых закладочных смесей (2204-2217 против 2090-2153 кг/м<sup>3</sup>). При этом в закладочной смеси увеличивается содержание заполнителя – диабазовых по-

род, на 118-187 кг/м<sup>3</sup>, что дополнительно негативно отражается на экономических показателях применения новой добавки. Однако следует учесть, что в условиях все возрастающей стоимости портландцемента возможность его экономии за счет применения при производстве закладоч-

ных смесей на основе заполнителя из скальных пород гиперпластификаторов может быть оправдана. При этом целесообразно использовать добавок не утрачивающие своих свойств при перемерзании, например, т.е. порошкообразные гиперпластификаторы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне: Издательство «Горная книга» - Москва, 2005.
2. Вовк А.И. Современные представления о механизме пластификации цементных систем / Бетон и железобетон – пути развития / Научн. тр. 2-ой Всерос. (Междунар.) конф. по бетону и железобетону. – т. 3. – М.: Дипак, 2005. – С 740-753.
3. Колбасов В.М., Елисеев Н.И., Панюшкина Т.А. Формирование структуры цементного камня в присутствии суперпластификаторов / Матер. VI Всес. научно-технич. совещ. по химии и технологии цемента. – М., 1983. – С.47-53.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998.– 768 с.
5. Massazza F. Admixtures in Concrete // Admixtures Cement Technology Critical Review and study of manufacturing quality control, operation and use. - Oxford.-1993. - Pp.569-648.
6. Добавки в бетон: Справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др.; Под ред. В.С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
7. Демьянова В.С. Дубощина Н.М. Сухие строительные смеси, модифицированные химическими добавками // Известия вузов. Строительство. – 1998. - №4-5. – С. 69-72. ГЛАБ

#### Коротко об авторах –

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

Гаркави М.С. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов Магнитогорского государственного технического университета, mgtu@mgtu.ru

Косова Н.С. – ведущий инженер лаборатории технологий закладки.



#### ДИССЕРТАЦИИ

#### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ «УРАЛМАШ»</b>			

ГАЗАЛЕЕВА Галина Ивановна	Научное обоснование и разработка технологии обогащения асBESTовых руд с получением готовой продукции высокого качества	25.00.13	д.т.н.
---------------------------------	---	----------	--------