

Н.Н. ПОДДУБНЫЙ, инженер, ООО «Ротис Плюс»

А.Н. ШАШЕНКО, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Национальный горный университет»

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ СОСТАВОВ НАБРЫЗГ-БЕТОНА

Статья посвящена поиску путей повышения эффективности набрызг-бетонных крепей. В ней охарактеризованы условия горных работ в современных шахтах и главные проблемы, связанные с креплением подземных горных выработок (горной крепью). Проанализировано развитие науки о горных крепях и торкретировании скальных поверхностей. Представлены основные проблемы обеспечения шахтного строительства в Украине стройматериалами. Выполнен анализ рынка строительных сухих смесей для бетонных работ в подземных условиях. Определены перспективные направления для решения проблем, связанных с бетонной горной крепью. Выполнен анализ технологических свойств набрызг-бетонных смесей BUDMIX KR; соответствия этих смесей требованиям горного строительства и специфике подземных выработок, а также потенциальные возможности производителя данной продукции в современных условиях для решения возникающих ресурсных задач. В статье также рассмотрены лабораторные исследования набрызг-бетонных смесей и проанализированы их результаты. Определены главные особенности и характеристики бетонных смесей различного состава. Представлены также экспериментальные испытания новых бетонов для крепления подземных полостей и оценка эффективности предлагаемой технологии. Рассмотрены экспертные заключения различных комиссий и инстанций. Определены возможности широкого внедрения в горную практику рассмотренных стройматериалов и реальные перспективы дальнейшего развития технологий, основанных на них.

Ключевые слова: набрызг-бетон, торкретирование, сухая смесь, прочность бетона, крепь.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. С каждым годом растут глубины и усложняются условия горных работ. Применение торкретирования в современном шахтном строительстве является наиболее эффективным, а нередко - единственно возможным способом крепления горных выработок. Торкретирование целесообразно в тех случаях, когда необходимо бетонировать поверхности сложной конфигурации, когда возникают трудности, связанные с уплотнением бетонных смесей вибраторами и требуются значительные затраты на изготовление опалубки, а также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости, адгезионной эффективности, тиксотропности, динамике схватывания и набора прочности. Применение этого метода позволяет упростить транспортирование бетонной смеси к месту укладки, что актуализует вопрос заводского изготовления последней. Таким образом, серьезной проблемой современного шахтного строительства является неполное соответствие средств крепления породных обнажений, а вытекающей из этого задачей - поиск наиболее эффективных, а главное - доступных торкрет-смесей отечественного производства.

Анализ исследований и публикаций. С момента появления первого патента на метод торкретирования в 1911 г., выданного в США К.Э. Эйкли, этот метод и оборудование для его осуществления претерпели значительную эволюцию [1]. У нас большинство научных исследований бетонирования набрызгом базируются на трудах В.М. Мосткова [2]. Значительный вклад во внедрение набрызг-бетона в практику строительства внесли работы С.А. Атманских, И.Л. Воллера, Б.Г. Грязнова, Д.М. Голицинского, М.В. Тушинского и др. [3-6], а также зарубежных специалистов: Л. Рабцевича, Э. Роттера, Р. Линдера, Ф. Пахера, Л. Мюллера, И. Вебера, Т. Райани, А. Манфреда и др. [7-9]. Ранее в СССР были разработаны различные нормативно-технические источники, относящиеся к технологическим правилам торкретирования инженерных сооружений (ПТКБ ЦП МПС СССР, 1985 г.), к вопросам крепления выработок набрызг-бетоном (ВСН 126-90 / Минтрансстрой СССР, ВНИИ транспортного строительства, 1991 г.) и др. [10].

Многие современные исследования сконцентрированы на улучшении технологических и эксплуатационно-технических свойств набрызг-бетона. Несомненным достижением являются разработки торкрет-бетона РСТ 8 на специальном водонепроницаемом безусадочном цементе с применением добавки РСАМ [11] и других [12]. ОАО «ЦНИИПромзданий» (РФ) рассматривает широкий спектр применения торкрет-бетонных покрытий конструкций полифункционального назначения, значительное внимание уделяя технологическим вопросам получения и применения в строительной практике торкрет-фибробетона, особенностям создания защитных покры-

тий с использованием этого материала [13]. Торкрет-бетон Spray-Con WS канадского производителя Gemite (Джимайт) является исключительно экономичным продуктом, поставляется в виде концентрата, смешивается непосредственно на рабочем месте с местным песком и портландцементом, образует водонепроницаемый воздухопропускающий слой, его можно наносить толщиной от 1/8 дюйма до 12 дюймов (от 40 до 300 мм) при последовательном наращивании покрытия. Spray-Con обладает прочностью соединения с основанием, которая превышает прочность на отрыв самого основания. Отличные связующие качества и армированная структура делают его идеальным материалом для крепления объектов, подвергающихся динамическим нагрузкам во время нанесения [14]. В Казанской государственной архитектурно-строительной академии разработано модифицирование торкрет-бетонной смеси водной эмульсией низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) с помощью анионоактивных ПАВ как эмульгаторов; подобраны типы ПАВ-эмульгаторов и режимы приготовления прямых концентрированных водных эмульсий НМПЭ-2 и смеси НМПЭ-2 и НМПЭ-3 [15].

Анализ приведенных и многих других исследований и публикаций свидетельствует о высоком уровне изучения и использования набрызг-бетона. Но в то же время для украинских потребителей большинство наиболее эффективных смесей зарубежных производителей являются экономически недоступными. На украинском рынке предложение отечественных сухих набрызг-бетонных смесей - крайне ограничено. Наибольший интерес, с нашей точки зрения, здесь представляет ряд смесей BUDMIX KR - и по их заявленным характеристикам, и с учетом потенциала производственной базы их производителя - ООО «РОТИС ПЛЮС» [16].

Постановка задач исследования. Вышеизложенные проблемы, ситуация в нашей стране, а также потребности горной и строительной отраслей обусловили цель данного исследования - анализ свойств набрызг-бетонных смесей BUDMIX KR, соответствия их требованиям горного строительства и специфике условий подземных выработок, а также потенциальных возможностей в решении возникающих задач названным предприятием.

Изложение материала и результаты. Смеси для торкретирования марки BUDMIX KR применяются: для нанесения на стенки горных выработок конструктивного набрызг-бетона; крепления и герметизации изоляционных перемычек; изоляции стенок горных выработок от притока в них воды и др. Выпускающее эти сухие смеси для набрызг-бетона сухого и мокрого нанесения ООО «РОТИС ПЛЮС» устойчиво работает на рынке строительных материалов более 7 лет. Особое внимание следует обратить на то, что предприятие создано на базе Криворожского завода строительных конструкций - производства, изначально структурно и функционально специализированного для схожих технологий, которое имеет более 3000 м² производственных площадей, что позволяет в кратчайшие сроки развернуть широкомасштабное производство разработанных торкрет-смесей, способное покрыть потребности горняков и строителей если не всей Украины, то Кривбасса - вполне, что обосновано серьезно аргументированными расчетами.

Кроме того, ООО «РОТИС ПЛЮС» имеет собственную научно-исследовательскую и лабораторную базу, а также активно сотрудничает с учеными и специалистами Криворожского национального и Национального горного университетов (соответственно - КТУ и НГУ).

Рассматриваемый набрызг-бетон является инновационным и не имеет аналогов. На сегодняшний день технология его производства имеет статус *ноу-хау*. Что же касается общей характеристики, то для изготовления смесей используются следующие материалы: вяжущее - портландцемент; заполнители - песок, гравий; добавки к смеси - сополимер винилацетата и этилена, а также метилгидроксипропилцеллюлоза.

Главными преимуществами BUDMIX KR являются:

1. Возможность нанесения за один проход слоя, толщиной более 300 мм, что обеспечивает: подтвержденное в промышленных условиях сокращение сроков производства работ по сравнению с «традиционными» смесями в 2-5 раз; экономию затрат на заработную плату в 3-7 раз и материала - до 30 %; увеличение сроков эксплуатации оборудования на 30 %.

Набрызг-бетон, нанесенный за один проход, создает монолитную конструкцию, работающую в полной мере как одно целое, а не слоистую, неизбежную даже при самых динамичных методах послойного торкретирования, что дает возможность при проектировании уменьшать площадь сечения выработки «в проходке» при сохранении «в свету» при равных прочих условиях.

2. Набрызг-бетон имеет ускоренный набор прочности в течение первых семи часов после нанесения, что позволяет производить циклические взрывные работы в более ранние сроки.

3. Рассматриваемый материал обладает пониженным процентом отскока - до 3%, что в свою очередь обеспечивает снижение: стоимости самой крепи, загрязнения горной выработки и находящегося в ней оборудования, а также затрат, связанных с утилизацией отходов.

4. Исследуемый материал в настоящее время уже выпускается как продукция ООО «РО-ТИС ПЛЮС» согласно государственного стандарта Украины «Смеси строительные сухие модифицированные» ДСТУ Б В.2.7.-126:2011 и межгосударственного «Смеси бетонные ДСТУ Б В.2.7.-96-2000 (ГОСТ 7473-94)».

5. Предоставляется возможность работы по согласованным недельно-суточным графикам.

6. Рассматриваемые набрызг-бетонные смеси хорошо себя зарекомендовали при работе, как на импортном, так и отечественном оборудовании на таких производствах, как: «Кривбас-железрудком», «Евраз Сухая Балка», «МитталСтил Кривой Рог».

7. Набрызг-бетонные смеси могут выпускаться по согласованию с заказчиками (согласно проектной документации или с изменившимися условиями) с разными характеристиками.

8. В настоящее время предприятие приступило к выпуску торкрет-смесей BUDMIX KR, позволяющих производить безопалубочное бетонирование по вертикальным и потолочным поверхностям толщиной 200-400 мм за один проход (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики набрызгбетонных смесей BUDMIX KR

№ смеси	Прочность на сжатие через			Толщина мм нанесения за 1 проход	Максимальная фракция, мм.	Предназначение, свойства, главные особенности смесей
	7 час	24 час	28 дн.			
1		335	600	100	До 10	Смесь для аварийных работ. Начало схватывания – через 45 мин. Ускоренный набор прочности. Смесь повышенной прочности.
2		230	500	300	До 10	Смесь повышенной прочности. Ускоренный набор прочности. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
3		170	500	100	До 10	Смесь для нанесения особо прочного набрызг-бетона.
4		200	500	100	До 10	Смесь для особо прочного набрызг-бетона. Ускоренный набор прочности.
5		108	450	100	До 10	Смесь для общестроительных работ повышенной прочности.
6	56	154	450	300	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 7 часов. Ускоренный набор прочности. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
7	20	140	400	300	До 10	Смесь для ответственных конструкций. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход.
8	5	74	350	100	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 24 часа. Ускоренный набор прочности.
9	37	95	350	300	До 10	Смесь позволяет проводить взрывные работы через 7 часов. Отскок – до 2%. Повышенная толщина нанесения за один проход. Ускоренный набор прочности.
10		134	300	100	До 3	Ускоренный набор прочности.
11	10	50	270	300	До 10	Ускоренный набор прочности; Повышенная толщина нанесения за один проход. Отскок – до 2%.
12			200	300	До 3	Для общестроительных работ с повышенной толщиной нанесения. Отскок – до 2%.
13			200	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
14		36	172	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
15		40	170	100	До 10	Смесь для общестроительных работ.
16		30	150	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.
17		17	150	400	До 10	Для неответственных конструкций с повышенной толщиной нанесения. Отскок – до 2%.
18		23	138	50	До 3	Смесь для мокрого способа торкретирования.
19			100	100	До 3	Смесь для общестроительных работ.

Исследование смесей BUDMIX KR осуществлялось в лабораториях ООО "РОТИС ПЛЮС", КНУ, ДП "Кривбасстандартметрология", УкрНИИпроммедицины МОЗУ, НИИ безопасности труда и экологии в горнорудной промышленности (НИИБТГ) и др. Испытывались образцы

размером 100×100×100 мм по ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Испытания проведены в соответствии ДСТУ Б В.2.7-96-2000 "Смеси бетонные. Технические условия"; ДСТУ Б В.2.7-214: 2009 "Строительные материалы. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам"; ДСТУ Б В.2.7-114-2002 "Смеси бетонные. Методы испытаний".

Испытательная лаборатория строительной продукции Государственного предприятия "Кривбасстандартметрология", аккредитованного Национальным агентством по аккредитации на соответствие ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006, на основании выполненных исследований смесей BUDMIX KR определила их радиометрические (табл. 2) и прочностные (табл. 3) характеристики.

Таблица 2

Результаты радиометрических испытаний

Наименование показателя / ед. измерений	Природные радионуклиды		
	Радий-226	Торий-232	Калий-40
Удельная активность природных радионуклидов в образцах	<61,18	<82,79	<220,10
Суммарная удельная эффективная активность радионуклидов, Бк/кг с погрешностью, %	188,34±30%		
Допустимые уровни суммарной удельной активности природных радионуклидов (Асум), Бк×кг-1 соответственно ДБН В.1.4-1.01-97	I класс – ниже, или равно 370 II класс – ниже, или равно 740 III класс – ниже, или равно 1350		

Таблица 3

Результаты прочностных испытаний

Название показателей (характеристик), единицы измерений	Протокол испытаний № 22458-Б от 19.12.2013 г. (В/Т=0,18)		Протокол испытаний № 23421-Б от 25.12.2013 г. (В/Т=0,17)		Протокол испытаний № 1073-Б от 15.01.2014 г. (В/Т=0,18)		Протокол испытаний № 1507-Б от 21.01.2014г. (В/Т=0,17)	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера серий образцов								
Предел прочности на сжатие после 7 часов								
Средняя масса образца, гр.; плотность кг/м ³	2068	2082	2014	2001				
Разрушающая нагрузка, кН	56,47	59,56	37,82	38,35				
Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	5,4	5,7	3,6	3,6				
Прочность бетона серии образцов, кгс/см ²	56		37					
Прочность бетона серии образцов, МПа	5,6		3,6					
Предел прочности на сжатие после 24 часов					после 28 суток			
Средняя масса образцов, г	2070	2076	1998	1989	2076	2080	2027	2032
Разрушающая нагрузка, кгс	15750	16750	10750	9250	46500	48125	35000	38750
Разрушающая нагрузка, кН	154,4	164,2	105,35	90,65	455,70	471,63	343,00	379,75
Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	14,7	15,6	10,0	8,6	43,3	44,8	32,6	36,1
Прочность бетона серии образцов, кгс/см ²	154		95		450		351	
Прочность бетона серии образцов, МПа	15,2		9,3		44,1		34,4	

Примечание: Испытания проводились при температуре воздуха 18-22 °С и относительной влажности 60-65 %.

Результаты радиометрии представлены в Протоколе испытаний № 6358-Х от 11.09.2013 г. Испытательной лаборатории «ПРОД-ТЕСТ» на продукцию: БСС В 10.П1.Ф50.В2 (бетонная смесь сухая для набрызг-бетона), изготовленная ООО "РОТИС ПЛЮС". Испытания проведены в соответствии с ДБН В.1.4-1.01-97 "Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений природных радионуклидов в строительстве. Регламентированные радиационные параметры. Допустимые уровни".

Общее заключение лаборатории: испытанные образцы имеют суммарную удельную эффективную активность ПРН (природных радионуклидов), обусловленную радием-226, торием-232 и калием-40, на уровне 188,34 Бк×кг-1 ±30%. Соответственно полученным результатам исследованный материал, представленный к испытаниям, относится к I классу строительных материалов.

Комиссия ПАО «ЕВРАЗ СУХАЯ БАЛКА» провела испытания смесей №№ 2,4,6, поставленных ООО «РОТИС ПЛЮС», в условиях действующей шахты.

Смеси тремя составами по 500 кг были нанесены по 2 м² на стены главного квершлага горизонта -1420 м, пройденного по амфиболитам крепостью $f=16-18$. Укладка смесей производилась при помощи установки СБ-67: смесь № 2 - за один проход был нанесён слой, толщиной $\delta_{cp}=140$ мм; смесь № 4 - $\delta_{cp}=110$ мм; смесь № 6 - $\delta_{cp}=300$ мм (рис. 1).



Рис. 1. Смесь № 2 – $\delta_{cp}=140$ мм (фото слева); Смесь № 6 – $\delta_{cp}=300$ мм (2 фото справа)

При торкретировании смесями № 2, № 4, № 6 отскок не превышал 2 %. Испытание смесей № 2, № 4, № 6 показало, что толщину нанесения при необходимости можно увеличивать: материал не «плывет». Начало схватывания испытуемых смесей: смесь № 2 - 7 мин., № 4 - 14 мин., № 6 - 45 мин. Прочность на сжатие (кгс/см²) через 7 часов: № 2 - 50, № 4 - 30; через 24 часа: № 2 - 200, № 4 - 120, № 6 - 20; через 28 суток: № 2 - 500, № 4 - 350, № 6 - 150.

Выводы комиссии: торкретные смеси №№ 2,4,6 - пригодны для использования в выработках ПАО «ЕВРАЗ СУХАЯ БАЛКА»

Согласно приказа № 958/1 ПАО «Кривбассжелезрудком» от 17.07.2013, специальная комиссия провела испытание торкретной смеси, поставленной ООО «РОТИС ПЛЮС», на «сбойке» между стволами шахт «Новая» и «Гвардейская» гор. -1430 м. Смесь в количестве 300 кг была нанесена на стены и свод установкой СБ-67 слоем 30-50 мм. Быстрота схватывания испытываемой смеси - 10 мин., «текхарда» - 15 мин. Потери за счет отскока испытываемой смеси по сравнению с «текхардом» - на 30 % меньше.

Выводы комиссии: Цементно-песчаная смесь - пригодна для использования в выработках ПАО «Кривбассжелезрудком», с учетом замечаний: упаковка должна быть влагонепроницаемой; вес мешка не должен превышать 25 кг. Результаты испытаний смеси прилагаются (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная таблица испытаний торкретной смеси 16.07.2013 в ИСП «ЦэнЛ»

	Средняя прочность контрольных образцов (кгс/см ²) через период							
	1 час	2 часа	3 часа	4 часа	5 часов	6 часов	7 часов	24 часа
«Ротис ПЛЮС» смесь № 4	1,4	4,16	9,0	15,3	21,4	34,3	31,0	122
«Ротис ПЛЮС» смесь № 5		3,9	10,3	22,9	29,5	33,3		126

Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы № 05.03.02-04/114181 от 2013 г.: по предоставленным заявителем образцам смеси BUDMIX KR соответствуют требованиям действующего санитарного законодательства Украины и могут быть использованы в заявленной сфере применения.

С учетом данных промышленных испытаний и заключения госсанэпидслужбы, НИИБТГ составил заключение экспертизы технической документации смеси BUDMIX KR производства ООО «РОТИС ПЛЮС» на соответствие требованиям нормативных актов по охране труда и промышленной безопасности.

Целью экспертизы являлась оценка возможности безопасного применения смеси в подземных условиях железорудных шахт. Анализ технических параметров смеси показал: изготовление смеси соответствует требованиям ДСТУ Б В.2.7-96: 2000; в качестве составляющих смеси

применяются компоненты, допущенные к использованию в строительстве; для нанесения набрызг-бетона используются установки, допущенные к эксплуатации в подземных условиях железорудных шахт.

Вывод экспертизы НИИБТГ: сухая смесь для торкретирования производства ООО «РОТИС ПЛЮС» отвечает требованиям ДСТУ Б В.2.7-96 2000 «Смеси бетонные и бетон. Технические условия» (ГОСТ 7473-94), НПАОП 1.2.90-1.02-71 «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом, в подземных условиях железорудных шахт» и пригодна к применению в подземных выработках шахт ОАО «Кривбассжелезрудком».

Общие выводы и направление дальнейших исследований.

1. На основании экспериментальных исследований установлена возможность и целесообразность использования смесей BUDMIX KR производства ООО «Ротис ПЛЮС» для торкретирования выработок.

2. Результаты экспериментальных исследований и промышленных испытаний указывают на снижение отскока при торкретировании смесью BUDMIX KR до 2%, при средних показателях традиционных смесей на уровне до 25%, и самых «продвинутых» - до 7% (при расходе цемента 500 кг/м³).

3. Экспериментально установлено, что смеси BUDMIX KR обеспечивают необходимые прочностные и эксплуатационные свойства крепи при снижении водопоглощения на 15-20% и увеличении водонепроницаемости в 1,5-2,0 раза.

4. Разработаны и оптимизированы составы смеси BUDMIX KR набрызг-бетонов.

5. Разработана технологическая схема нанесения набрызг-бетона на основе BUDMIX KR и выполнено опытно-промышленное применение ее и составов данной смеси в ПАО «Кривбассжелезрудком».

По мнению авторов, весьма целесообразно продолжить исследование представленных составов при введении в них дисперсного армирования.

Список литературы

1. <http://gostrf.com/normadata/1/4293839/4293839687.htm>
2. **Мостков В.М., Воллер И.Л.** Применение набрызгбетона для проведения горных выработок. -М.: Недра, 1968. -127с.
3. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
4. **Атманских С.А.** Исследование процессов возведения набрызг-бетонной крепи в горизонтальных горных выработках.// Кандидатская диссертация.-Свердловск.-1969. -С.23.
5. **Голицинский Д.М., Маренный Я.И.** Набрызгбетон в транспортном строительстве. -М. :Транспорт.-1993.-152с.
6. **Батраков В.Г.** Модифицированные бетоны. -М. -1998. -768с.
7. **Darbi M.L.** Sprayed concret-material with great potential. Water schvices, 1981, v.85, N 1020, P.80-81.
8. Tunnels and tunnelling. -1988. -Т.20. -№10. -с. 18-20.
9. **Reading G.,** Sanierung mit dem Betonspritzverfahren. BD Baumaschinendinst. -1980.-N8.-S.662-663.
10. <http://www.iprosoft.ru/techexpert/ST?base=8124&catId=57>
11. <http://www.b2b.by/goods/building-construction-materials-glass-ceramics-S000/construction-materials-and-products-glass-S300/roofing-and-waterproofing-materials-and-work-S355/TORKRET-BETONY-81333-6164.html>
12. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
13. <http://gostrf.com/normadata/1/4293839/4293839687.htm>
14. <http://vival.ibud.ua/ru/company-prais/vlazhnyy-torkret-beton-dzhimayt-spray-con-ws-vival-64122>
15. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/440115.html>
16. <http://budmix-kr.com/>