

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НАБРЫЗГ-БЕТОНА ТОНКИМ ПОТОКОМ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЕРМАНИИ

Розроблена методика, технологія і техніка зведення бетонного кріплення методом набрызк-бетонування в умовах шахт Німеччини.

Разработана методика, технология и техника возведения бетонной крепи методом набрызг-бетонирования в условиях шахт Германии.

The procedure, technology and technique of erection of concrete timbering by the spill-concrete method are developed for conditions of mines in Germany.

В последние годы в угольной промышленности разработан ряд способов повышения несущей способности арочных крепей, при которых пространство за крепью заполняется строительными материалами при помощи набрызга. При этом стальные крепи полностью омоноличиваются бетоном. Этим достигается увеличение несущей способности крепи и одновременно эффективная защита от коррозии. Однако, все эти методики требуют большого расхода стали и стройматериалов. Также, наряду со значительными дополнительными расходами, они вызывают большие затраты времени на возведение крепи.

Впервые в угольной промышленности Германии в Bergbau AG Нижний Рейн на шахте Вальсум (Walsum) четвертый восточный коренной штрек (северное направление) был закреплён набрызг-бетоном с очень высокой несущей способностью при одновременном полном отказе от элементов стальной арочной крепи.

Поэтому при поисках методик на шахте Вальсум ставилась цель: разработать методику проходки с применением долговечной крепи с высокой несущей способностью, не требующей возведения стальной арочной крепи.

Известно, что эту методику многие годы применяют с большим успехом при строительстве тоннелей, но применяемый там способ набрызг-бетона с трудом находит применение в немецкой угольной промышленности. Это можно объяснить, прежде всего, тем, что приготовление бетона высокого и постоянного качества в подземных условиях шахты довольно затруднительно. К тому же, часто применяемый при строительстве тоннелей метод сухого на-

брызг-бетона связан с образованием пыли, что в условиях шахты является нежелательным.

Возведение бетонной крепи методом мокрого набрызг-бетона было бы решением проблемы. Поиски такого метода привели в Венгрию.

Оценка экономичности технологически приемлемых решений, показала, что запасы угля месторождения Маркушеди, расположенного недалеко от города Oroszlany (Орошланы) в Венгрии, лучше всего вскрыть 3 вертикальными стволами и одним наклонным стволом. Стволы должны служить для проезда, вентиляции и транспортировки материала, а уголь должен выдаваться исключительно через наклонный ствол.

Проходка наклонного ствола, технические данные которого представлены в таблице 1, велась в соответствии с календарным графиком, крепь должна была окончательно возведена через 22 месяца. При этом должны были быть соблюдены или сокращены сроки строительства и использоваться эффективная система проходки.

Таблица 1

Технические данные наклонного ствола

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
1	Протяженность	м	1620
2	Уклон	%	200
3	Поперечное сечение	м <sup>2</sup>	18.23
4	Сечение в свету	м <sup>2</sup>	12.68
5	Профиль крепления		арка
6	Ширина подошвы	м	4.8
7	Высота в свету	м	3.1

Для выполнения своих функций наклонный ствол должен быть полностью оснащен и окончательно оборудован за один рабочий цикл. В ходе работ должна быть применена новая система крепления, обеспечивающая расчетный окончательный крепеж и высокомеханизированные проходческие и крепежные работы. Ремонтные работы в пределах срока эксплуатации наклонного ствола не предусмотрены; крепление горной выработки должно быть экономичнее обычных и обеспечивать лучшие условия для здоровья рабочих.

В фазе подготовительных работ по строительству наклонного ствола были пробурены вдоль запроектированной выработки 9 буровых скважин, для разведки геологических и гидрологических условий, а также для выяснения физико-механических параметров горных пород. Анализ результатов бурения дал следующие результаты:

– В верхней части наклонного ствола на глубине до 15 м находится водоносный речной песок. Уровень грунтовых вод находится на глубине от 4 до 5 м. Оборудование этого участка обычными горными методами было бы нецелесообразно.

– При достижении более устойчивых пород должны быть применены методы горной проходки, но этот участок нужно было изолировать от проникновения в него грунтовых вод.

– Выемку горных пород можно производить резанием, их прочность на сжатие лежит между 5 и 20 МПа. Одноосная прочность на сжатие в местах имеющих залеганий песчаника достигает 50 МПа.

– Интенсивная фаза реологических процессов (около 50 % деформаций) длится от 5 до 10 часов; определяющие процессы длятся от 4 до 7 д.

– Просочившееся количество воды незначительно; дренаж не требует никаких особых мероприятий.

Была принята следующая технология проходки наклонного ствола. Первый участок длиной 125 м наклонного ствола был закреплен монолитной бетонной оболочкой. Снаружи бетонная оболочка была гидроизолирована, и на нее был нанесен особый водонепроницаемый слой набрызг-бетона. После этого производили проходку наклонного ствола горно-техническим способом, технологическая цепочка которой состояла из врубовой машины РК-9г, дизель-гидравлической монорельсовой подвесной дороги фирмы Шарф (Scharf GmbH), машины для набрызг-бетона Шперно – 208Г

(Sperno 208 G) фирмы «SPERNO» Эльмара Шперфехтера, бетонной смесительной установки Дормикс (Dormix), а также ленточного конвейера для выдачи породы фирмы Шюттгут (Schüttgut). Разрушение горных пород и их выемка производилась врубовой машиной РК-9г, предназначенной для проходки горной выработки от 2.2 до 3.9 метров высоты, с шириной подошвы от 3.0 до 5.8 метров, 7.0 до 20 м<sup>2</sup> поперечного сечения в свету, с уклоном до 15 градусов. Среднее давление на почву от  $9 \times 10^4$  Па этой 30-тонной машины не вызывало в итоге даже при мало увлажненной подошве, состоящей из глины никаких проблем для маневрирования. Машина не вызывала никаких проблем при проходке, хотя проходка не была узким местом в технологической системе. Обратный свод сзади проходческой машины был вручную с помощью отбойных молотков разработан и вручную порода подана для транспортировки на поверхность. За врубовой машиной плотно следовали две специальные служебные единицы техники. Первая содержала привод передающего конвейера, а также устройства инструменты для опережающей крепи и радиальной распорки произведенной разработки, ТХ-арки. Связанная с первой вторая единица обслуживала устройства электроснабжения, так называемый «энергопоезд». Обе единицы были закреплены гидравлическими стойками и передвигались при помощи этих стоек.

После проходки выработки на расчетную глубину заходки, сразу же возводилась стальная арочная крепь, состоящая из верхняка и боковых стоек, с особенными элементами затяжки, которые позже должны были служить как арматура для набрызг-бетона. После установки крепи и арматуры в малоустойчивые горные породы проводился набрызг так называемого контактного слоя бетона, который предотвращал скалывание горных пород, химическое выветривание и в рамках новой системы крепления должен был замедлить реологические процессы в горных породах, которые могли вызвать проявления трещин (обрушений) вокруг выработанного пространства еще до окончания закрепления ствола. Рецептура приготовления бетона для контактного слоя и подбиралась с учетом местных условий горных пород.

Длина участка, закрепленного контактным бетоном от пройденной от груди забоя до первой служебной единицы, составляла 12 метров. На этом участке применялись обратные (противовесные, разгрузные) арки и специальные угло-

вые элементы, которые связывали разгрузочные арки с собственно арочной крепью. Первая служебная единица предоставила в распоряжение устройство для затяжки арок. Предварительное закрепление обеспечивало безопасность рабочего пространства до окончательного закрепления набрызг-бетоном и обеспечивало возможность обустройства монорельсовой дороги. За второй служебной единицей, на удалении примерно 24 м от груди забоя, проходило окончательное возведение крепи набрызг-бетоном, размеры и состав которой были предварительно рассчитаны разработанными нами методиками. Предварительно рассчитанная постоянная крепь показывала уже в течение ее затвердевания, что ее допустимые нагрузки, значительно больше, чем фактические нагрузки контактной крепи. Происходит распределение нагрузки между горными породами и бетоном таким образом, что предельные нагрузки ни одного, ни другого не превышаются.

В процессе проходки наносился бетон заранее определенного состава, процессы (протекание) затвердевания и изменения твердости (прочности) которого были взяты с учетом требований геологических характеристик окружающих горных пород. Бетон был эластичнее, чем обычные виды бетонов, его прочность была предварительно рассчитана для условий затвердевания под нагрузкой, он давал малые отклонения параметров прочности, что в сумме позволило проводить закрепление ствола шахты с учетом предварительных требований.

Таблица 2

**Рецепт приготовления бетона В-400/16**

№ п/п	Наименование показателей	Ед.изм.	Значение
1.	Портланд цемент, марки 450	кг/м <sup>3</sup>	350
2.	Инертные добавки, наполнители	кг/м <sup>3</sup>	1883
3.	Соотношение вода : цемент		0.42
4.	Клей силипон на каждый килограмм цемента	гр	3
5.	Консистенция		1.0
6.	Установленная плотность	кг/м <sup>3</sup>	2380
7.	Линия просеивания	%	
	до 0.1мм		6
	от 0.1 до 4 мм		54
	от 4 до 8 мм		20
	от 8 до 16 мм		20
8.	Потери при отскоке	%	20
9.	Время приготовления смеси (смешивания)	сек.	90

Набрызг-бетон, соответствующий приведенным в табл. 2 условиям, приготавливался машиной для набрызг-бетона Sperno 208 G, регулирующей энергию нанесения бетонной смеси, что дало возможность установить оптимальное уплотнение (плотность).

Приготовленный по приведенной рецептуре бетон может превосходить другие типы набрызг-бетонов (нанесенных без оптимизации энергии) по его окончательной прочности на 30...40 %. Но этот способ имеет также и другие преимущества:

- вследствие повышенного уплотнения применение добавок, ускоряющих схватывание, излишне;
- отсутствие пылеобразования;
- обеспечение непрерывного потока материалов, что предотвращает расслоение (оседание) бетонной смеси во время нанесения;
- достижение соотношения вода : цемент, обеспечивающее наибольшую прочность (рис. 1).

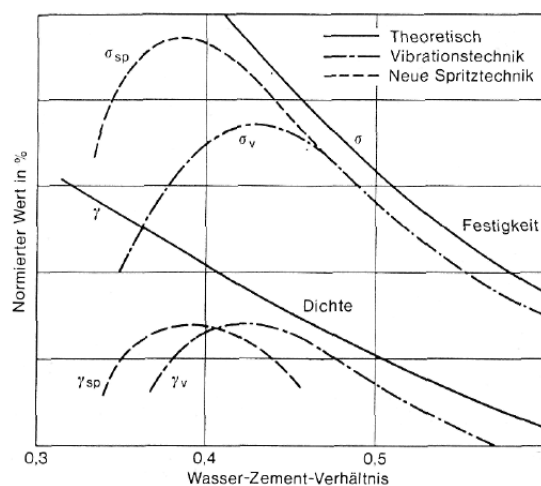


Рис. 1. Рекомендуемое водо-цементное отношение

Смесь была гомогенизирована в активизированном бетоно-смесителе принудительного действия.

Для того, чтобы произвести статически удовлетворяющую конструкцию по технологии набрызг-бетоном, которая могла бы служить крепью подземных пространств, необходимо исходить из основополагающих условий, что эта крепь:

- должна соответствовать горномеханическим принципам, наиболее полно отражающим естественные условия;
- должна иметь правильно размеренную структуру оболочки, соответствующую поведению горного массива вокруг выработки;
- ее параметры должны соответствовать обоснованным бетонным технологиям;

– при возведении должна выдерживать критические параметры.

Машина для набрызг-бетона фирмы «SPERNO» Sperno 208 G удовлетворяет этим условиям возведения железобетонной крепи.

Образцы (керны) из структуры набрызг-бетона показали, что:

– макроструктура бетонной крепи гомогенна и изотропная;

– параметры прочности и эластичности соответствуют заданным;

– набрызг-бетон обеспечивает распределение нагрузки структуры крепи и прочную связь между горной породой и крепью;

– регулируемая энергия нанесения набрызг-бетона обеспечивает оптимальное уплотнение.

По нормам Венгрии отбирались по 3 пробы керны на каждые 100 м<sup>3</sup> нанесенного бетона, которые должны были подвергаться государственному контролю качества. При возведении наклонной шахты Маркушеги разброс значений прочности набрызг-бетона был менее 10 %.

Расчет и ее возведение крепи осуществлялось в свете новых теорий горной механики. Результаты расчетов были представлены в виде свободной технологической шкалы вариантов, в основе которой была предусмотрена продолжительность эксплуатации без ремонтных работ – 30 лет. Программирование технологии фаз возведения крепи позволило снизить действующие нагрузки в окончательно возведенной крепи примерно на 30 % и достичь на 35 % большей прочности, чем прочность бетона той же рецептуры, нанесенного другими способами.

Сравнительная оценка экономичности технологических вариантов в горнодобывающей промышленности – это трудно разрешимая проблема, так как основополагающий исходный пункт – горно-техническая равноценность решений – в большинстве случаев не реализуема. Для целей оценки экономичности здесь необходимо сравнить 3 технически равноценных варианта.

#### *Вариант А*

Буро-взрывные проходческие работы, погрузка породы механизирована, выгрузка из лавы на двойной вагонетке Winscp; оборудование ствола из бетонных блоков V-30, забутовка пространства за крепью строительным раствором.

#### *Вариант В*

Буро-взрывные проходческие работы, погрузка породы механизирована, подача из лавы по электродизельной монорельсовой подвесной дороге, оборудование ствола при помощи бетонных панелей с забутовкой пространства за крепью.

#### *Вариант С*

Выше рассмотренный вариант.

Предварительно рассчитанные результаты сравнения экономичности трех технологических вариантов приводятся в таблице 3. Резко бросается в глаза то, что затраты на строительство одного метра в варианте С только 61 или 75 % от обычных вариантов А и В соответственно. Последующая экономическая оценка варианта С показала хорошую сходимость значений с предварительно рассчитанными.

Таблица 3

**Сравнительная характеристика экономичности различных методов проходки.**

Наименование показателей	Ед.изм.	Вариант		
		А	В	С
Скорость проходки	м / месяц	30	40	100
Общее время строительства	мес.	50	37.5	15
Общие годовые затраты	MFt/a (млн форинтов в год)	39.2	42.7	80.7
Себестоимость без процентов на проценты	млн фор/год	164.8	132.5	100.8
Себестоимость с процентами на проценты	млн фор/год	187.5	144.1	102.5
Прямые затраты на строительство одного метра	фор/м	88.9	71.8	54.2

Венгерские шахтеры уже давно применяют для крепления штреков мокрый набрызг-бетон тонкого потока в сочетании со стальной арматурой. При этом используемые машины типа

Sperno 208 G для укладки набрызг-бетона производятся в Германии на фирме «SPERNO».

К тому же, метод исключает возникновение пыли. Его отличие от приготовления бетона для набрызга сухим методом состоит в том, что

смешивание составляющих происходит в смесителе с добавлением строго дозируемого количества воды.

Машина для набрызга пневматически подает мокрую смесь через шланг к стальной трубе, на выходе которой получают поток смеси с высокой скоростью. Наряду с другими преимуществами, этот метод позволяет достичь равномерного качества бетона. Методика применима наряду с любой отбойной техникой и хорошо согласуется с системой подачи-доставки материалов, приспособлена к специфическим условиям горного предприятия, есть возможность поточного крепления, пригодна к текущим ремонтным работам.

Важнейшие технологические параметры выбранной методики: качество бетона можно оптимизировать в широких пределах; плотность набрызгиваемого конструкционного бетона 90...93 процента; бетон однородный, рассеяние параметров до 10 %.

Важнейшие параметры машин для этой методики:

*Регулируемые, постоянные рабочие параметры бетонной струи:*

- постоянная подача бетона;
- постоянная подача воздуха;
- жидкий состав бетона;
- скорость струи;
- вид и позиция струи.

*Технологические параметры:*

– методика применима наряду с любой отбойной техникой (технологии с применением маленькой и большой машины);

– согласованность с системой подачи-доставки материалов;

– приспособляемость к специфическим условиям горного предприятия (опасность метана и т.д.);

– возможность поточного крепления;

– пригодность к текущим ремонтным работам.

*Технологические особенности методики:*

– однородность материала и сохранение однородности в течение всего процесса набрызг-бетонирования;

– обеспечение состава бетона, пригодного для нанесения с требуемой для уплотнения энергией и одновременно достигающего максимального уплотнения;

– определенная оптимальная энергия уплотнения по отношению к исходной смеси разной консистенции;

– так как набрызгиваемый бетон с самого начала участвует в повышении несущей способности конструкции, необходим такой бетон, «зеленое» сопротивление которого можно регулировать (3...5 МПа сопротивление давлению);

– получение желаемого качества бетона при помощи такого оборудования, обеспечивающего постоянную подачу и равномерное ускорение подаваемого материала;

– регулирование потока бетонной смеси в трубе таким образом, что его протекание цилиндрично-симметрично;

– в фазе струи низшая скорость в осевое направление смеси будет по меньшей мере в два раза больше, чем конечная скорость спада твердых зерен;

– свободная струя бетона стабильно конвергентна и управляема;

– применение такой машинной техники, делающей возможной параллельно с отбойной работой подходящее условиям механики породы постоянное нанесение крепления.

Фирма «SPERNO» в Германии изготавливает типоряд целевых машин для выше приведенной технологии набрызг-бетона тонким слоем.

Поступила в редакцию 22.10.2007.