

Набрызгбетон

для крепления горных выработок

Construction Chemicals

Химические вещества, применяемые в строительстве

Underground Construction Group

Департамент Подземного Строительства

World-wide/ Region Europe

Регионы в Европе и во всем мире

BASF International Underground Construction Group

Division of BASF
(Switzerland) Ltd.
Vulkanstrasse 110
8048 Zurich , Swit-
zerland

Департамент БАСФ(Швейцария) Лтд
Vulkanstrasse 110
8048 Цюрих, Швейцария
Тел: +41-58-958 22 10
Факс: +41-58-438 22 46

Machines/Equip-
ment: Машины/
Оборудование

Оборудование MEYCO
Отдел БАСФ (Швейцария) Лтд.
Hegmattenstrasse 24
8404 Winterthur, Швейцария
Тел:+41 -58-958 2700
Факс: +41-58-958-37 07

БАСФ в Казахстане

г. Алматы
пр.Райымбека 211 А
тел. : +7(727) 279 00 13
факс: +7(727) 233 32 82

г.Астана
5 мкр-н, дом 6/1, офис 16
тел. : +7(7172) 34 47 30
факс: +7(7172) 34 38 95

г.Атырау
пр.Азаттык 8А
офис 14, 15
тел. : +7(7122) 99 61 37
факс: +7(7122) 99 61 38

г.Караганда
ул.Гоголя 31, 2 этаж
тел. : +7(7212) 56 33 10
факс: +7(7212) 56 33 10

This document is the exclusive property of BASF International Underground Construction Group, Division of BASF (Switzerland) Ltd., having its registered office at 8048 Zurich (Switzerland), Vulkanstrasse 110.-
Этот документ является эксклюзивной собственностью BASF International Underground Construction Group, Департамент BASF в Швейцарии, адрес офиса:
Цюрих ,Швейцария -8048, Vulkanstrasse 110.

The user of this document is expressly prohibited from copying or, in any manner reproducing it, wholly or partly, without the prior written consent of BASF International Underground Construction Group, Division of BASF (Switzerland) Ltd. Any abuse of these constraints may give rise to legal proceedings.- Строго запрещается частичное или полное копирование этого документа без предварительного согласия BASF International Underground Construction Group, Департамента BASF в Швейцарии, в письменном виде. Нарушение авторских прав преследуется законом .

2th edition February 2008 ,500 copies.-2-издание, февраль 2008г.

Выражаем благодарность Доктору Михаилу Жжевскому за перевод текста.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	11
1.1	Что такое набрызгбетон	11
1.2	Где используется набрызгбетон	13
1.3	Технология применения набрызгбетона	13
1.4	Два метода - в чем их различие	15
2	Способ «сухого» набрызгбетонирования	17
2.1	Состав сухой смеси	17
2.1.1	Содержание цемента	17
2.1.2	Водоцементное отношение	17
2.1.3	Содержание естественной влаги	18
2.1.4	Добавки	18
2.1.5	Другие компоненты	20
2.1.6	Фибра	21
2.2	Смеси, приготовленные на строительной площадке, в сравнении с материалами, расфасованными в мешки	21
2.3	Проблемные моменты в процессе «сухого» способа набрызгбетонирования	22
2.4	Заключение	24
3	Способ «мокрого» набрызгбетонирования	26
3.1	Причины перехода к способу «мокрого» набрызгбетонирования	27
3.1.1	Экономическая эффективность	27
3.1.2	Рабочая обстановка	27
3.1.3	Качество	28
3.1.4	Применение	28
3.2	Достоинства	29
3.3	Недостатки	29
3.4	Подведение итогов «мокрого» способа набрызгбетонирования	30
3.5	Состав смеси для «мокрого» набрызгбетона	30
3.5.1	Микросилика	31
3.5.1.1	Особые преимущества набрызгбетона с микросиликой	31
3.5.2	Заполнители	32
3.5.3	Добавки (пластификаторы/суперпластификаторы)	34
3.5.4	Традиционные ускорители схватывания	38

3.5.4.1	Как происходит химическое действие алюминатов в процессе гидратации	39
3.5.4.2	Модифицированное жидкое стекло	42
3.5.4.3	Области применения	43
3.5.4.4	Типичные дозировки	43
3.5.5	Бесщелочные ускорители схватывания	44
3.5.5.1	Пылеобразование	45
3.5.5.2	Неправильное истолкование терминов некаустический/бесщелочной с точки зрения химии	47
3.5.5.3	Некаустические бесщелочные ускорители в жидком виде	49
3.5.5.4	Бесщелочные порошкообразные ускорители	54
3.5.5.5	MEYCO* SA 160/SA 161/ SA 162/ SA170: чувствительность к виду цемента	54
3.5.5.6	Сравнение результатов начальной прочности с аналогичными данными при использовании традиционных ускорителей на базе алюминатов	56
3.5.5.7	Оборудование для дозирования	59
3.5.5.8	Совместимость с другими ускорителями	61
3.5.5.9	Особые требования при использовании MEYCO	61
	Типичные результаты испытаний в натурных условиях	62
4.	Новые передовые системы набрызгбетонных добавок	86
4.1	Краткий обзор	86
4.2	Delvo*crete	86
4.2.1	Введение	87
4.2.2	«Мокрый» способ набрызгбетонирования	89
4.2.3	Дозирование и доставка набрызгбетона при «мокром» способе	90
4.2.4	Контролирование гидратации цемента	91
4.2.5	Техническое исполнение	94
4.2.6	Сроки схватывания	95
4.2.7	Прочность	96
4.2.8	Отскок	97
4.2.9	Экономическая эффективность	98
4.2.10	Подведение итогов	101
4.2.11	Изучение отдельных случаев	101
4.3	Улучшение качества бетона (внутреннее твердение)	106

4.3.1	Исходные данные	108
4.3.2	Повышение качества бетона с MEYCO* TCC 735	109
4.3.3	Испытания новой технологии	109
4.3.4	Преимущества работ улучшенного бетона с MEYCO*TCC 735	110
4.3.5	Надежное и экономичное решение	110
4.3.6	Результаты некоторых испытаний набрызга	111
4.4	Заключение	114
5	Фибра в набрызгбетоне	115
5.1	Для чего нужно армировать бетон?	115
5.2	Как стальные фибры работают в набрызгбетоне	116
5.3	Виды фибр	117
5.3.1	Фибры из стекловолокна	117
5.3.2	Синтетические фибры	117
5.3.3	Углеродные фибры	119
5.3.4	Стальные фибры	119
5.4	Технические преимущества стальных фибр	120
5.5	Экономические преимущества стальных фибр	122
5.6	Проектирование смеси набрызгбетона, армированного стальными фибрами	123
6	Долговечность набрызгбетона	125
6.1	Реализованные проекты	126
6.2	Нормы и руководства	128
6.3	Строительная компетенция	128
6.4	Проектирование набрызгбетонной смеси	129
6.5	Сульфатостойкость набрызгбетона с бесщелочными ускорителями	131
6.6	Химическая стабильность новых ускорителей	132
6.7	Долговечность набрызгбетона, армированного стальными волокнами	133
6.8	Условия применения	133
6.9	Заключение	133
6.10	Образец C-45	134
6.11	Возможные последствия от использования различных моделей смеси	135
7	Оборудование, используемое для набрызгбетона	136
7.1	Ручное набрызгбетонирование	136

7.1.1	Оборудование/системы для набрызга по «сухой» технологии	136
7.1.1.1	Принцип действия (например, MEYCO* Piccola, MEYCO*GM)	136
7.1.1.2	Разработки	138
7.1.2	Оборудование/системы для «мокрого» способа набрызгбетонирования	138
7.1.2.1	Разработки	138
7.1.2.2	Комплексные системы для ручного выполнения работ	143
7.2	Механизированное набрызгбетонирование	143
7.2.1	Манипуляторы для набрызгбетонирования	143
7.2.1.1	Классические манипуляторы распыления разных направлений	144
7.2.1.2	Распылительные манипуляторы для шахтных стволов	147
7.2.1.3	Распылительные манипуляторы для строительства колец ГПК	149
7.2.1.4	Манипуляторы набрызга, контролируемые с помощью компьютерной системы	150
7.2.2	Самоходные установки для набрызгбетонирования	155
7.2.3	Преимущества механизированного набрызгбетонирования	159
7.3	Системы дозирования	159
7.4	Системы сопла	160
7.5	Системы контроля за протеканием процесса набора прочности бетоном	161
7.5.1	Проникающая игла	161
7.5.2	Испытания на отрыв	162
8 .	Проектирование крепления горных выработок	163
8.1	Механизмы активного действия набрызгбетона на горную породу	166
8.2	Набрызгбетон при проходке в скальных трещиноватых породах	168
8.3	Набрызгбетон при проходке в слабых раздробленных породах	170
8.4	Основы механики горных пород	172
8.5	Некоторые пункты по НАТМ	175
8.6	Важные свойства набрызгбетона в креплении горных выработок	177
8.7	Армирование	178
8.8.	Методы крепления тоннелей	180

9.	Постоянные набрызгбетонные обделки в тоннелях	183
9.1	Равитие постоянных набрызгбетонных обделок	183
9.2	Экономическая эффективность однослойных тоннельных обделок (SPTL)	184
9.3	Альтернативы SPTL	184
9.4	Сечение тоннеля	187
9.5	Армирование крепи	187
9.5.1	Арматурные стержни и сварные сетки	187
9.5.2	Армирование стальными фибрами	187
9.6	Армирование грунта	189
9.7	Строительные швы, связанные с последовательностью работ	191
9.8	Двухслойный метод SPTL - строительные швы второго слоя	192
9.9	Двухслойный метод SPTL - сцепление первого и второго слоев	194
9.10	Отделка поверхности	196
9.10.1	Шероховатая и ровная заглаженная поверхности	196
9.10.2	Системы плакирования	198
9.11	Достижение долговечности набрызгбетонной обделки	198
9.12	Рекомендации по выполнению работ	198
9.12.1	Условия применения	199
9.12.2	Руководство по выбору современных систем применения	202
9.13	Системы контролирования риска	202
9.14	Повышение водонепроницаемости путем применения набрызгмембран	205
9.14.1	Тоннели SPTL имеют потенциальный риск образования течей	206
9.14.2	Тоннели SPTL с высоким гидростатическим давлением	207
9.14.3	Реконструкция существующих тоннелей	207
10.	Указания по применению набрызгбетона	209
10.1	Подготовка скальной поверхности	209
10.2	Общие технические приемы набрызга	212
10.3	Снижение отскока материала и повышение качества	213
10.4	«Мокрый» способ и автоматизированные манипуляторы для набрызгбетонирования	217
10.5	Повышение уровня компетентности	219

11.	Время и экономика	221
11.1	Образец расчета	221
11.2	Заключение	222
12.	Перспективы: Потенциал применения набрызгб- тона	224
	Использованная литература	226

Введение:

Человеческая изобретательность является следствием естественного желания человечества познавать и способности учиться. Исследователи и первооткрыватели обладают этими качествами в наибольшей степени: ими движет неутолимое любопытство выйти за пределы познанного, исследовать природу вещей, раскрыть связи между различными явлениями, разработать новые теории, подтвердить концепции новыми фактами.

Хорошо известно, что в строительной индустрии в целом, и в подземном строительстве в частности, все проекты отличны и в своем роде уникальны. Количество и взаимодействие различных параметров, относящихся к строительству, выше, чем во многих других областях промышленности. Поэтому строители, также как и производители строительных материалов и изделий, вынуждены быть весьма гибкими и быстро приспосабливаться к новым требованиям.

Особенности набрызгбетона, такие как метод его устройства при креплении горных выработок, специальные материалы, оборудование сделали его важным и необходимым инструментом для современного подземного строительства. Разработка современного способа «мокрого» набрызгбетонирования, в частности, расширила возможности подземного строительства. Проекты, которые ранее невозможно было осуществить, стали в настоящее время реальными. С использованием набрызгбетона подземные сооружения теперь можно строить там, где они необходимы, независимо от горно-геологических условий.

1.1 Что такое набрызгбетон?

Набрызгбетон, или торкретбетон, не является новым изобретением. Набрызгбетон известен более восьмидесяти лет. Первые работы с применением набрызгбетона были выполнены в Соединенных Штатах в Аллентауне еще в 1907г. компанией “Cement-Gun”. Первое устройство для напыления сухих материалов при новых строительных работах было изобретено в Пенсильвании в 1907г. Карлом Этаном, который нуждался в машине для набрызга строительного раствора на металлический каркас для сооружения динозавров. Его компания Cement-Gun защитила интересы торговой марки «Gunite» для используемой ими строительной смеси. Этот раствор содержал мелкий инертный заполнитель и весьма высокий процент цемента.

Термин Gunitе используется в строительной практике по сей день. В некоторых классификациях под Gunitе подразумевают распыленный строительный раствор, но пределы размера заполнителя не ограничены:

Чтобы избежать недоразумения между терминами "распыленный цементный раствор" и "набрызгбетон", мы предпочитаем употреблять термин «набрызгбетон» для каждой распыленной смеси, содержащей цемент и инертный заполнитель.

На сегодняшний день существует две технологии набрызгбетонирования: «сухая» и «мокрая». Первоначально применялся только «сухой» способ. При этом способе сухая смесь цемента и заполнителей загружается в машину и подается сжатым воздухом через шланги. Вода, необходимая для гидратации цемента, вводится лишь у сопла машины.

Использование «мокрого» способа набрызгбетонирования началось после Второй Мировой Войны. Схожие с обычным бетоном смеси приготавливаются сразу с необходимым содержанием воды. Смеси нагнетаются соответствующими машинами через шланги. Сжатый воздух для набрызга добавляется у сопла и обеспечивает распыление бетонной смеси.

Некоторые утверждают, что набрызгбетон является особым бетоном. По нашему мнению, набрызгбетон является лишь одним из способов устройства бетонной конструкции. Наряду с традиционными методами укладки бетона, набрызгбетон также обладает своими особенными требованиями к качеству смеси в процессе бетонирования. В то же время, набрызгбетон должен отвечать всем общепринятым технологическим требованиям к бетонной смеси, таким как водоцементное соотношение, количество цемента, точная консистенция и последующий уход. Причина факта широкого применения набрызгбетона плохого качества во многих частях мира заключается в том, что люди забывают о том, что набрызгбетон является только специальным способом укладки, но также необходимо удовлетворять все другие технологические требования бетона.

Оборудование как для «сухого» так и для «мокрого» способа набрызгбетонирования существенно улучшилось. Новейшее оборудование будет рассмотрено в этой книге в отдельной главе.

1.2 Где используется набрызгбетон?

Неоспоримые преимущества набрызгбетона как способа выполнения строительных работ, совершенствование оборудования, появление новых материалов и технологий сделали его важным и необходимым инструментом для многих видов работ. Набрызгбетон решает проблемы устойчивости породы в тоннелях и других подземных сооружениях. Сегодня набрызгбетон является ключевой технологией при креплении горных выработок:

- при проходке тоннелей
- в горно-добывающей промышленности
- в гидротехническом строительстве
- при креплении откосов строительных котлованов и береговых сооружений

Более 90 % от общего объема применения набрызгбетона приходится на крепление горных выработок.

В сравнении с обычным бетоном, набрызгбетон применяется сегодня в относительно меньших объемах, но для решения значительно более широкого спектра задач. Например при:

- устройстве шахтной крепи
- облицовке каналов
- реконструкции и ремонте зданий и сооружений
- креплении береговых склонов
- создании огнеупорных облицовок
- противопожарной защите и защите от коррозии
- создании облицовок для бассейнов
- в сельском хозяйстве (ямы для удобрений)
- оштукатуривании и укреплении кирпичных стен

Набрызгбетон является методом строительства будущего благодаря нижеперечисленным качествам:

- гибкости технологических операций
- скорости его применения
- экономичности

При достаточной силе воображения нет границ в области применения набрызгбетона.

1.3 Технология набрызгбетона

В мире имеются лишь несколько главных компаний-разработчиков,

которые через практическую деятельность, в результате многочисленных исследований и разработок имеют свои «ноу-хау». Оборудование и методы контроля также прошли значительный путь развития, что привело к более эффективному производству работ и более высокому качеству конечного продукта. С международной точки зрения можно смело сказать, что мы прошли долгий путь с тех пор как набрызгбетон начал применяться при креплении горных выработок, но также справедливо заметить, что мы отстаем в использовании набрызгбетона в общегражданском строительстве и ремонтных работах. Причину этому найти нелегко. Технология существует, однако не используется полностью.



Рисунок 1 :Набрызг с дистанционным управлением

Правила обязывают людей выполнять работу по особым технологическим требованиям к набрызгбетонным работам. В свою очередь, требования привели к лучшему обучению персонала. В результате улучшилось общее качество работ. Число специальных строительных компаний, которые работают с набрызгбетоном, возросло за последние несколько лет, и это улучшило качество применения. Однако, все же есть риск некачественной работы менее подготовленными компаниями-Подрядчиками. Как правило, это случаи выполнения сравнительно небольших объемов работ, где компании часто не хватает знаний о набрызгбетоне. Такие ситуации все же можно устранить, если строительная компания будет более строгой в своих требованиях к компетентности, предыдущему опыту, подготовленному персоналу, знаниям о бетоне и методам его устройства.

Строительные компании должны требовать существования необходимых органов и соответствующей нормативной базы для применения набрызгбетона, которая существует, например для покрытий (подобно Ассоциации набрызгбетона в Великобритании).

1.4 Два метода - в чем их различие?

В настоящее время известны два способа набрызга - это «сухой» и «мокрый».

Для сухого способа характерно то, что вода, необходимая для гидратации цемента, добавляется непосредственно у сопла, а при мокром способе смесь уже содержит необходимое количество воды. Оба способа имеют свои преимущества и недостатки. В зависимости от условий работ и опыта операторов выберут наиболее подходящий способ производства работ. В будущем будет потребность в применении обоих способов.



*Рисунок 2: MEYCO * Suprema предоставляет непульсирующий набрызг и систему компьютерного управления (PLC)*

Еще несколько лет назад сухой способ являлся доминирующим, но в настоящее время дело обстоит иначе, особенно в использовании набрызгбетона для крепления горных выработок. Мы верим, что в будущем мокрый набрызгбетон будет все более преобладающим способом, поскольку он создает лучшую рабочую обстановку, обеспечивает более высокое качество работ и производительность.



Рисунок 3: Машина MEYCO Piccola отличается мощностью, простотой действия и способностью приспособливаться к специфическим условиям на строительной площадке.*

Дальнейшие усовершенствования в технологии набрызгбетона будут происходить большей частью в связи с применением мокрого способа. Наглядным примером недавних разработок может послужить применение добавок нового поколения (Delvo*crete, MEYCO* ТСС, усилитель бетона), микросилики и стальных фибр. В настоящее время 70% набрызгбетона основано на мокром способе и 30% - на сухом. Однако в некоторых регионах мокрый способ уже полностью доминирует (в Скандинавии, Италии почти 100%). В течение последующих 5 лет более 80-90% всего набрызгбетона в мире будет основано на мокром способе. В настоящее время во всем мире ежегодно используется более 8 млн. куб.метров набрызгбетона.

2. Сухой способ набрызг бетонирования

2.1 Состав сухой смеси

2.1.1 Содержание цемента

При производстве сухой смеси содержание цемента обычно составляет от 250 до 450 кг на 1000 литров заполнителя или от 320 до 460 кг на 1 м³ бетона. Чтобы судить о фактическом содержании цемента в составе применяемого набрызгбетона, следует учитывать величину отскока. В сравнении с исходной смесью, отскок главным образом приводит к потере самого крупного заполнителя и, соответственно, к повышению содержания цемента. В типичной стандартной смеси с 350 кг цемента на 1 м³ 20 процентный отскок в конечном счете образует приблизительно 400 кг цемента на 1 кубический метр остающегося набрызгбетона.

2.1.2 Водоцементное отношение

Отношение воды и цемента является решающим фактором качества набрызгбетона. Общий объем воды, используемой с сухими смесями, состоит из воды, добавленной у сопла и влажности, уже содержащейся в заполнителе. В отличие от мокрого способа, в процессе сухого напыления водоцементное отношение не имеет большого значения, потому что количество примешиваемой воды контролируется и регулируется сопловщиком (оператором). Это часто считается большим недостатком. Тем не менее, на практике водоцементное отношение достаточно стабильно из-за ограниченных пределов в изменении количества воды. Если добавляется слишком мало воды, это приводит к мгновенному повышению пылеобразования; а если воды слишком много, набрызгбетон не удерживается на поверхности, и полностью «оплывает». Если работа выполнена должным образом, водоцементное отношение изменяется только в незначительных пределах и остается ниже 0.5. В лучшем случае (заполнители, требующие небольшого количества воды, достаточно низкого содержания цемента) можно даже наносить набрызгбетон с водоцементным отношением ниже 0,4.

2.1.3 Содержание естественной влаги

Еще одним важным аспектом для сухого способа является естественная влажность. Там, где смесь слишком сухая, распыление приводит к значительному пылеобразованию. Если степень содержания влаги чрезмерно высока, это приводит к технологическим сложностям, связанным с проблемами «зависания» бетонной смеси при ее подачи по шлангам и резко понижает производительность работ, а иногда и полностью блокирует работы (возникают «пробки»). В идеальном случае содержание естественной влаги должно быть в пределах от 3 до 6 %.

В дополнение к смесям, производимым на строительных площадках, за последние несколько лет наблюдается рост в использовании сухих материалов, доставляемых на строительную площадку в мешках или контейнерах. Эти материалы, конечно же, не содержат естественной влаги. Чтобы понизить образование пыли, целесообразно увлажнять сухие материалы перед подачей в распылительную машину. Для этой цели можно использовать специальные устройства подачи или предварительно увлажненные сопла. Это позволяет наносить последующие слои набрызгбетона быстрее и увеличить толщину наносимого слоя.

2.1.4 Добавки

Существуют различные добавки для контроля свойств набрызгбетона. Важнейшими из них являются ускорители схватывания и твердения бетона. Эти добавки сокращают сроки схватывания. Набрызгбетон застывает быстрее и обладает более высокой начальной прочностью. Это позволяет наносить последующие слои набрызгбетона быстрее и увеличить толщину наносимого слоя.

В крупномасштабных проектах ускорители помогают повысить производительность и служат важными предпосылками для многих применений. Например, в подземном строительстве и строительстве шахт начальная прочность набрызгбетона имеет решающее значение и является необходимым условием для устойчивости сооружения.

Из технологии строительства хорошо известно, что ускорение гидратации цемента неизбежно приводит к снижению 28-дневной прочности.

Таким образом, чтобы достигнуть высокого качества конечного набрызгбетона, необходимо обеспечить добавление наименьшего

количества ускорителя и возможно точной последовательности его введения. Пропорция ускорителя должна определяться в каждом отдельном случае в соответствии с количеством и качеством используемого цемента.

Ускорители можно употреблять в виде порошка или жидкости. Порошкообразные ускорители (такие как бесщелочной MEYCO* SA 545) вводятся в процессе подачи к машине распыления.

К сожалению, все еще широко распространенным методом введения добавок в сухую смесь является ручной способ, при котором невозможно гарантировать точное дозирование и распределение добавки.

Обычно в результате передозирования происходит неравномерное распространение. Различные исследования продемонстрировали снижение конечной прочности на 35 % и более в сравнении с исходным бетоном, т.е. без ускорителей. Таким образом, дозирование вручную может быть приемлемо только в исключительных случаях или в случаях, когда требования, предъявляемые к качеству бетона, низкие.

Аккуратность дозирования достигается при использовании специальных приспособлений, комбинированных с приборами дозирования порошка.

Наилучшие результаты достигаются с помощью винтовых систем, снабженных дозаторами (например MEYCO* AFA). Конвейерные системы не рекомендуются.

Удобным решением проблемы дозирования порошкообразного ускорителя является использование модифицированных материалов, помещенных в мешках. Однако в проектах крупного масштаба об этом как правило не может быть и речи из-за экономических причин.

Наилучший способ обеспечения точного дозирования ускорителей — это применение жидких продуктов (таких как бесщелочной MEYCO SA 160).

Такие продукты дозируются при добавлении к примешиваемой воде и вводятся в сухой материал у сопла. Для достижения равномерной дозировки необходимо применять подходящую систему дозирования даже с жидкими ускорителями. В тех случаях, когда нужно предварительно смешать воду и ускоритель, машины пригодны только до определенного момента. Когда соотношение воды и ускорителя установлено, дозировка производится по весу цемента каждый раз, когда введение воды регулируется сопловщиком. Необходимо и важно регулировать количество воды, например,

чтобы оперативно реагировать на изменения естественной влаги заполнителя или наличие влаги на обрабатываемой поверхности.

Стабильное отношение цемента и ускорителя может быть гарантировано использованием поршневых насосов, которые отмеряют постоянное количество добавок, определенного в пропорции с объемом распылительной машины совершенно независимо от влажности (например, MEYCO* Dosa TDC).

Жидкие ускорители обладают дополнительными преимуществами в сравнении с порошкообразными: не возникает проблемы каустических компонентов при пылеобразовании. Дозирование через сопло предотвращает мгновенное схватывание. Благодаря равномерному смешиванию с распыляемым материалом, жидкие ускорители можно отмерять более экономично, что также приводит к лучшей конечной прочности. Опыт показывает, что в сравнении с исходным бетоном потеря конечной прочности может быть снижена до 25 %.

Помимо ускорителей и другие добавки применяются при сухом способе набрызга, такие как, например, понизители пылеобразования. Но на практике эти вещества получили ограниченное распространение.

2.1.5 Другие компоненты

В отличие от химических добавок действие дополнительных компонентов является, главным образом, физическим. Хорошо известны примеры использования минеральных наполнителей, таких как микросиликаты, которые приобретают все большую популярность. Эти тонкодисперсные вещества (с поверхностью 20-35 кв м на грамм) с пропорцией SiO₂ в пределах от 65 до 97%, в зависимости от качества продукта, приводят к существенному улучшению качества набрызгбетона. Это очевидно из сравнения показателей прочности на сжатие и плотности. Благодаря повышенному сцеплению набрызгбетона могут наноситься более толстые слои за один прием.

При сухом способе применение микросиликатов обеспечивает еще одно преимущество. Микросилика может привести к снижению отскока в ряде случаев наполовину. С обычной (некомпактной или уплотненной) микросиликой, введенной в мешалку, снижение отскока минимально. Норвежская компания Elkem разработала специальную технологию добавления 50-процентной суспензии (дозированной в воде) у сопла. Суспензия очень эффективная, но и

достаточно сложная. Для ее применения необходим специальный насос-дозатор (напр. MEYCO Mixa) и дополнительный продукт на строительной площадке в достаточно больших количествах. Суспензию следует хранить должным образом и, в большинстве случаев, требуется дополнительная мешалка.

2.1.6 Фибра

При использовании набрызгбетона можно употреблять стальные и синтетические фибры. Их главная особенность заключается в том, что фибры приводят к увеличению энергетических характеристик материала и к значительному снижению усадочных трещин в набрызгбетоне.

Использование стальных фибр при сухом способе встречается относительно редко по сравнению с мокрым способом набрызгбетонирования. Основная причина - более высокая степень отскока (>50%). Следовательно, соотношение затрат и преимуществ становится критическим. Благодаря опыту, накопленному за последние несколько лет и современным возможностям понижающим отскок, также ожидается рост использования стальных фибр при использовании сухого способа.

2.2 Смеси, приготовленные на строительной площадке в сравнении с материалами, расфасованными в мешки

Как уже упоминалось выше, сухой способ позволяет использовать смеси с заполнителями естественной влажности или высушенные в печи. Заполнители с естественной влажностью недорогие и производят меньше пыли. Однако естественного содержания влажности достаточно, чтобы начался процесс преждевременной гидратации. Именно поэтому эти смеси имеют ограниченный срок годности и должны использоваться в течении 1 или 2 часов. Более длительное хранение приводит к огромному повышению отскока и к резкому снижению конечной прочности. Изготовление сухой смеси на строительной площадке приводит к необходимости применения дополнительных машин для смешивания бетона и подачи смесей. Такие машины, очевидно, выгодны только в относительно масштабных проектах. При малом масштабе или в краткосрочных проектах сухую смесь для набрызгбетона можно получить на заводе готовых смесей. Это, в свою очередь, создает проблему задержки перед использованием из-за расстояния и безопасной

доставки. Доставка и укладка должны тщательно планироваться, чтобы не было задержек и перерывов вследствие недостаточных запасов.

Однако сухие смеси, поставляемые в мешках или различных контейнерах, можно хранить длительное время, упрощая таким образом планирование. К тому же они обладают более высокими прочностными и другими характеристиками. Недостатки заключаются в повышенной тенденции к образованию пыли (которое может контролироваться предварительным увлажнением) и сравнительно высокой цене.

Разработка систем, контролирующих гидратацию, как например Delvo*crete, сделало возможным продлить срок хранения смесей с естественной влажностью. При добавлении Стабилизатора Delvo*crete в процессе производства, смесь остается свежей и неизменной. Жидкий Активатор S Delvo*crete добавляется в момент применения. Он одновременно реактивирует гидратацию цемента и действует в качестве ускорителя. Активатор добавляется подобно обычному жидкому ускорителю. Следовательно, не нужно менять технику и оборудование при использовании Delvo*crete.

С Контрольной Системой Гидратации Delvo*crete сухие смеси можно хранить до 3 дней. В свою очередь, это говорит об адекватной гибкости при использовании материалов в мешках, но со значительно меньшими затратами.

2.3 Проблемные моменты в процессе сухого способа набрызга

Естественно, что в каждом процессе бывают свои недостатки. При использовании сухой технологии набрызга - это относительно высокие затраты вследствие износа роторных машин, особенно с резиновыми уплотнителями на дисках трения.

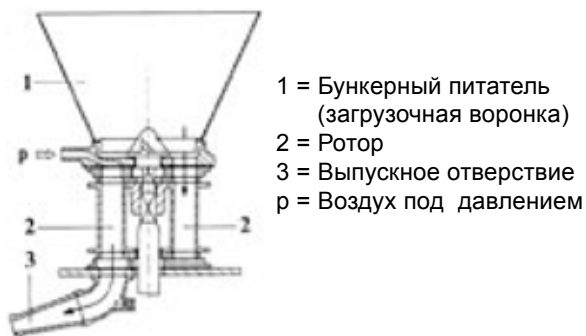


Рисунок 4: Роторный принцип типичной машины для сухого напыза (MEYCO, GM Piccola)*

Правильная установка машин и своевременная замена деталей (с квалифицированным шлифованием) могут значительно снизить затраты.

Еще одним недостатком является пылеобразование. Этот недостаток можно значительно уменьшить, обеспечив естественное содержание влаги в смеси (или соответствующим предварительным увлажнением), а также используя пылеподавляющие добавки. Также могут быть эффективны насосы повышения давления воды. Эти насосы усиливают давление воды в процессе смешивания в сопле. В сочетании с использованием улучшенных водораспределительных колец можно обеспечить правильное и равномерное увлажнение сухих материалов в сопле. В зависимости от системы, гидравлическое давление повышается до 80 бар. Такие приборы дорого стоят и в относительной степени подвержены сбоям. Как видно из нашего опыта, системы, обеспечивающие 10-15 бар, обычно вполне достаточны. В дополнение к образованию пыли у сопла, необходимо помнить о воздействии пыли на систему подачи машины. В этом отношении более выгодны традиционные двухкамерные машины или современная их версия Schurenberg (SBS). Роторные машины все же могут быть в значительной мере пыленепроницаемыми с помощью различных средств, таких как установка роторного пылеуловителя или непрерывное смазывание резиновых уплотнителей системы.

Другой способ полной герметизации роторной машины -оснащение ее гидравлической системой крепления (например как в случае с MEYCO* Unica). Ротор уплотняется с помощью облицовки, а сжимающее давление автоматически приспосабливается к давлению питания. Эта система обеспечивает нужное давление (даже в случае

засорения или предельных дистанций подачи), обеспечивая тем самым полную ее герметизацию. Этот новый вид системы крепления также приводит к существенному снижению затрат истирания и количества необходимого сжатого воздуха (снижение приблизительно до 25%).

Еще одной важной проблемой в процессе сухого набрызгбетонирования является относительно высокая степень отскока. В зависимости от поверхности нанесения (вертикальные стены или свод), теряется от 15% до 35% бетона.

Средняя величина потерь обычно составляет от 20% до 25 %, в сравнении с 5 -10 % в процессе мокрого набрызгбетонирования.

Отскок можно значительно уменьшить использованием новых видов добавок и вышеупомянутых дополнительных компонентов. Микросилика или другие системы контроля гидратации, подобно Delvo*crete, дают положительный результат. Средняя величина потерь может быть ограничена приблизительно 15 %, что сравнимо с результатами, достигнутыми в процессе мокрого набрызга.

Низкая производительность оборудования часто считается еще одним недостатком. В настоящее время, однако, есть машины, благодаря которым представляется возможным нанесение более чем 10 м³/час. Это, разумеется, становится невозможным при ручном методе набрызга, а только с использованием манипулятора набрызга. С учетом ускоренного изнашивания производительность свыше 8 м³/час становится экономически неэффективной вследствие значительного повышения затрат.

2.4 Заключение

Благодаря многолетнему опыту применения сухого набрызгбетонирования раскрыты многие особенности и секреты работ. Важным представляется четкий выбор материалов, оборудования и их соответствие современным стандартам для достижения удовлетворительных результатов высокого качества и экономии. Сухой способ является более ранним из двух используемых при набрызгбетонировании. Благодаря производимым в настоящее время новым материалам и оборудованию стало возможным расширение области применения сухого способа набрызгбетонирования. В будущем следует ожидать что, благодаря доступным сегодня преимуществам и возможностям для устранения обычных недостатков процесс сухого набрызгбетонирования все еще будет играть важную роль. Основной объем применения следует ожидать на малых

и средних по объемам работ объектах, где присутствуют высокие требования к мобильности работ, например, при ремонте зданий и сооружений.

3. Мокрый способ набрызг бетонирования

Как упоминалось выше, этот метод применяется на 100% в Скандинавии, Италии и, главным образом, в подземном строительстве. Значительный рост в использовании набрызгбетона для крепления горных выработок за последние 15-20 лет потребовал значительной модернизации способа и интенсивного развития технологии.

Развитие мокрого способа в Скандинавии в 1971-1980гг. послужило причиной интенсивных перемен на Скандинавском рынке набрызгбетона. В течение этого периода мокрый набрызг на 100 % вытеснил сухой способ.

В это же время автоматизированный метод набрызга практически полностью вытеснил ручной метод. Поразительна перемена в Норвегии. Примерно с 1976-1978 гг. жидкое стекло и стальные фибры начали использовать при мокром способе набрызгбетонирования в быстро возрастающих объемах.

Справедливо заметить, что норвежцы стоят во главе исследований применения мокрого способа набрызга. Они определенно имеют самый большой опыт и знают больше других о мокром набрызгбетоне.

Первоначально мокрый набрызг приобрел плохую репутацию из-за несовершенного оборудования и недостаточного знания метода. Вследствие этого набрызгбетон был плохого качества. Для повышения пластичности смеси, позволяющей ее подачу по трубопроводам, первоначально использовали смеси с высоким водоцементным отношением, вплоть до 1.0. Благодаря новейшим разработкам в бетонной индустрии, в настоящее время не возникает сложностей в получении набрызгбетона с прочностью более 60 МПа в возрасте 28 дней.

Сегодня мокрый способ набрызга используется также для отделки новых зданий (вместо традиционной штукатурки) и для ремонта нефтяных платформ на Северном море. Это служит доказательством качества метода, поскольку хорошо известно какие высокие требования предъявляются к методам и материалам, используемым в прибрежных конструкциях.

3.1 Причины перехода к способу мокрого набрызга

Неизвестно, почему быстрый переход в Скандинавии не имел параллели ни в какой другой стране. Описание причин в условиях Норвегии может дать некоторое объяснение.

3.1.1 Экономическая эффективность

Производительность набрызгбетонных работ значительно возросла при переходе от машин сухого способа к новейшим роботизированным установкам, работающим по мокрой технологии. Средняя 8-часовая сменная производительность при мокром способе обычно превышает производительность при сухом способе в 4-5 раз.

Инвестиционные затраты на новые установки-роботы для мокрого набрызгбетонирования резко увеличились, но, одновременно, снизилась себестоимость уложенного набрызгбетона. Одной из главных причин этого явилось сокращение времени набрызгбетонирования. Благодаря применению интегрированных автоматических систем набрызг можно производить за считанные минуты после установки оборудования в забое или на строительной площадке. С введением высокопроизводительных бурильных машин скорость бурения повысилась примерно на 100 %. В связи с этим затрачивается меньше времени на цикл буровзрывных работ. Следовательно, экономится больше времени. Время, расходуемое на набрызг, также должно быть меньшим. Поэтому, ключевым фактором явилось повышение производительности набрызгбетонных работ.

Снижение отскока примерно на $1/4$ на м^3 также имело важное экономическое значение.

3.1.2 Рабочая обстановка

При сухом способе набрызга операторы обычно сталкивались с огромным объемом пыли. Пыль образовывалась не только у сопла, но также в самой машине. При измерении содержания пыли в воздухе в рабочей зоне обнаруживалось превышение норм более чем в 3 раза.

С началом использования мокрого способа пылеобразование значительно уменьшилось, и рабочие бригады обычно выражали удовлетворение по поводу этого преимущества. Одним из факторов, который способствовал внедрению мокрого способа набрызга, была необходимость безопасной проходки горных выработок в

сложных горно-геологических условиях. Риск обрушения породы был зачастую очень высок, и безопасность персонала не могла быть обеспечена без роботов для набрызгбетонирования, а также без армирования набрызгбетона стальными фибрами.

3.1.3 Качество

Качество обычно не считается ни ценностью влажного метода, ни причиной перехода от сухого способа к мокрому. Мы не согласны с теми, кто утверждает, что при мокром набрызге качество набрызгбетона ниже и, следовательно, его не следует применять, но используя надлежащие добавки, понижающие водоцементное отношение, и микросилику, прочность набрызгбетона на сжатие может быть до 100 МПа.

Прочность на растяжение при мокром способе достаточно стабильна. С сухим способом это представляется более проблематичным.

3.1.4 Применение

При мокром способе используется бетонная смесь, приготовленная, главным образом, на бетонных заводах, к которой заранее вводятся необходимые добавки. Такая смесь изготавливается таким же путем, как и обычный бетон. Можно в любое время контролировать водоцементное соотношение, а, следовательно, и качество. Консистенцию можно регулировать, например, введением различных добавок.

Способ мокрого набрызга позволяет контролировать качество работ в течении всех технологических операций. Готовая смесь загружается в насос, и под давлением через шланг подается к соплу. В начале главным образом применялись шнековые насосы. В настоящее время преобладают поршневые насосы. Эта тенденция сохранится и в будущем.

У сопла, в конце шланга, под давлением 7 бар, в объеме 7-15 м³ в мин., подается сжатый воздух, который и распыляет смесь. Воздух подается для того, чтобы увеличить скорость наносимого материала, увеличить его плотность и сцепление с поверхностью. Часто допускаемая ошибка при применении мокрого способа заключается в том, что не обеспечивается достаточного объема и скорости воздуха. Обычно объем воздуха 4-8 м³ в мин., не дает хороших результатов на прочность и сцепление. Отскок при этом достаточ-

но высок. Для автоматизированного набрызгбетонирования необходима интенсивность подачи воздуха до 15 м³ в мин. Кроме воздуха, к соплу подаются ускорители схватывания. Неправы скептики, утверждающие, что невозможно получить морозостойкий бетон, и что набрызгбетон с введенными ускорителями имеет худшее сцепление с поверхностью. Как показывают результаты многочисленных испытаний, проведенных исследовательскими центрами, а также практический опыт, с добавками были получены лучшие показатели по морозостойкости, чем полученные без использования ускорителей. Это происходит вследствие получения более плотного и прочного бетона. Сцепление также улучшается ускорителями потому, что не допускается стекание («оплывание»), и бетон немедленно прилипает к поверхности.

3.2 Достоинства

Достоинствами мокрого способа набрызга по сравнению с сухим являются:

- отскок намного ниже. Потери обычно не превышают 5-10% при использовании надлежащего оборудования и обученного персонала.

Эти цифры также применимы и в случае распыления армированного набрызгбетона;

- улучшение рабочей обстановки: возникает меньше проблем с образованием пыли;
- более толстые слои вследствие эффективного употребления добавляемых материалов;
- контролируемое дозирование воды (неизменное, определенное водоцементное отношение);
- улучшенное сцепление;
- более высокая прочность на сжатие и незначительные отклонения в результатах;
- производительность и, следовательно, общая экономичность намного выше;
- возможность использования стальных фибр и новых передовых добавок.

3.3 Недостатки

- ограниченная дистанция подачи (максимально 300м);
- повышенные требования к качеству заполнителей;
- ограниченные возможности прервать работу;
- затраты на очистку оборудования.

3.4 Подведение итогов влажного метода

Методом мокрого набрызга с использованием автоматизированных установок одним оператором можно достигнуть средней производительности 60-100 м³ за 8 часовую смену. При этом отскок не будет превышать 10%.

Сравнивая сухой и мокрый способы, можно прийти к выводу, что сухой способ целесообразно применять для выполнения работ небольшого объема (например при ремонте) и в особых случаях, когда существуют длинные дистанции подачи смеси и частые перемены в работе. Способ мокрого набрызга следует применять для крепления горных выработок.

3.5 Состав смеси для мокрого набрызгбетонирования

Что необходимо для получения качественного набрызгбетона, наносимого с использованием мокрого способа:

- цемент
- микросилика
- инертные заполнители
- добавки
- жидкие бесщелочные ускорители схватывания
- фибра
- уход за бетоном после нанесения
- оборудование
- правильное исполнение

Мы кратко рассмотрим особые моменты, позволяющие разъяснить преимущества, а также укажем на недостатки в результате неправильного применения. Как упоминалось выше, к набрызгбетону предъявляются те же требования, что и к обычной бетонной смеси в строительстве, а именно:

- низкое водоцементное соотношение
- минимальное содержание воды
- минимальное содержание цемента
- хорошая подвижность смеси

Противоречия между свойствами свежего и застывшего бетона особенно значительны для набрызгбетона, и они, как правило, ухудшали качество набрызгбетона при мокром способе. Но это изменилось благодаря добавкам, снижающим содержание воды, микросилике и фибре.

3.5.1 Микросилика

Микросилика считается весьма реакционно-способным материалом. Она обладает способностью объединять инородные ионы, особенно щелочные.

Микросилика имеет определенный эффект наполнителя, и поэтому полагают, что она распределяет продукты гидратации на доступной площади более однородным способом. Это приводит к образованию бетона с пониженной проницаемостью, повышенной сульфатостойкостью, а также более быстрыми сроками схватывания и твердения.

Учитывая свойства бетона с микросиликатом важно помнить, что микросиликат может использоваться двумя способами;

- в качестве заменителя цемента для снижения его содержания - обычно из экономических соображений;
- в качестве добавки для улучшения свойств бетона - в свежем и твердом состоянии.

В набрызгбетоне микросилика должна применяться скорее как добавка (нежели чем вяжущее вещество) для улучшения свойств бетона и распыления.

3.5.1.1 Особые преимущества набрызгбетона с микросиликой

Набрызгбетон со стандартными показателями, например прочностью 20-30 Мпа, можно получать без добавления микросилики, когда как практичное и экономичное производство бетона большей прочности в какой-то степени зависит от микросилики.

С технической точки зрения желательно использовать 5-10% микросилики от веса цемента. Правильное использование микросилики в смеси может наделить набрызгбетон следующими свойствами:

- пластичность смеси увеличивается и снижается ее сегрегация
- понижается истирание деталей и шлангов
- улучшается сцепление свежего бетона и, следовательно, снижается расход ускорителя, что позитивно отражается на конечной прочности и твердении бетона
- увеличивается сцепление с различными горными породами и между слоями набрызгбетона
- увеличивается прочность самого бетона
- возрастает стойкость к щелочным заполнителям
- снижается проницаемость набрызгбетона

- снижается величина отскока
- повышается сульфатостойкость

В набрызгбетоне, упрочненном фибрами, микросилика обеспечивает:

- улучшение процесса смешивания и распределения фибр
- снижение отскока фибр
- улучшение сцепления между раствором и фибрами

В результате этих позитивных действий мы утверждаем, что микро-силика должна всегда вводиться в набрызгбетон для того, чтобы получить наилучшее возможное качество. Когда микросилика добавляется к бетону из-за ее тонкодисперсности необходимо всегда добавлять больше пластификаторов/суперпластификаторов, чтобы лучше распределить микросилику в смеси. Дозировка добавок возрастают приблизительно на 20% в сравнении с набрызгбетоном, не содержащем микросилики.

3.5.2 Инертные заполнители

Как и для всех обычных видов бетона, качество инертных заполнителей очень важно, как для бетонной смеси, так и для затвердевшего бетона. Особенно важным является гранулометрического состав, распределение заполнителя разных фракций.

Особую важность представляют количество и характеристики мелких фракций. Однако, не всегда уместно говорить о выборе заполнителя, так как обычно должен использоваться доступный местный материал и следует приспосабливаться к нему. Тем не менее, при мокром способе следующие критерии должны обеспечиваться:

- максимальный диаметр заполнителя не должен превышать 8-10 мм из-за ограничений, обусловленных использованием оборудования для набрызга и во избежание слишком больших потерь вследствие отскока. Хотя с технологической точки зрения желательно иметь возможно больший максимальный размер - гранулометрический состав также выполняет важную роль, особенно нижняя часть, распределение мелких частиц.
- Содержание мелких частиц в сите номер 0.125 мм должно быть не менее 4-5% и не более 8-9%
- при недостатке мелкого заполнителя происходит разделение (сегрегация) смеси, что ведет к повышенному износу оборудования и возможным пробкам в трубопроводах и шлангах, а также к ухудшению качества бетона. Для бетона армированного фибрами излишек мелкого заполнителя ведет к ухудшению подвижности бетонной смеси, смесь становится более вязкой, что приводит к трудностям при прокачке бетононасосом.

Поскольку шаг границ сита относительно мал, часто удобно объединить две или больше долей, например 0-2, 2-4 и 4-8 мм, регулируя пропорции между ними, чтобы составить диаграмму сита, которая соответствует границам идеальной кривой распределения. Если мелкого зерна слишком мало, это будет компенсировано использованием большего объема цемента или микросилики. Слишком большой объем мелкого заполнителя компенсируется, прежде всего, увеличенным введением добавок, снижающих содержание воды.

Кривая распределения гранулометрического состава для заполнителя должна находиться в пределах участка с нанесенными полосами рисунка 5.

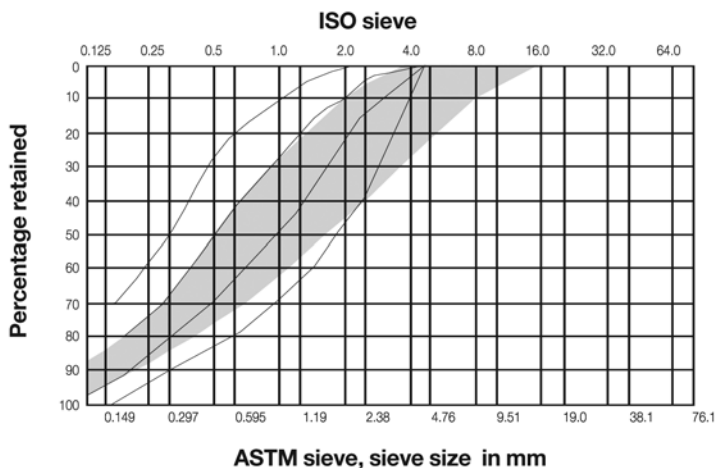


Рисунок 5

ISO sieve- Cumo ISO

Percentage retained- Процент остатка

ASTM sieve, sieve size in mm- Cumo ASTM, размер сита в мм.

Желательно, чтобы количество частиц размером 8мм не превышало 10 %.

Частицы больших размеров отскакивают при набрызге на твердую поверхность (в начальный момент применения) или проникают в уже нанесенный бетон, создавая препятствия при заполнении пустот.

Во время просеивания, хранения и обработки заполнителей необходимо предотвращать попадание частиц размером более 8 мм. Крупные частицы могут блокировать сопло и последующая за этим чистка может отнять много времени.

Таблица 1:

СИТО	МИНИМАЛЬНЫЙ%	МАКСИМАЛЬНЫЙ%
0.125	4	12
0.25	11	26
0.50	22	50
1.0	37	72
2.0	55	90
4.0	73	100
8.0	90	100
16.0	100	100

Заполнители должны быть хорошо отсортированы, и ни одна доля фракций не должна превышать 30 % общего объема. Содержание дробленного и некубического материала («лещадки») не должно превышать 10 %.

Улучшение гранулометрического состава для природного песка использованием дробленных материалов часто приводит к потребности в дополнительной воде, к худшей прокачиваемости бетононасосом. Перед применением дробленных материалов, как части заполнителей, следует провести испытания для сравнения чтобы установить, обеспечивает ли добавление дробленного материала лучший результат.

3.5.3 Добавки (пластификаторы/суперпластификаторы)

Мокрый способ набрызга требует специфических свойств бетонной смеси, в частности, ее подвижности и удобоукладываемости, которые можно получить введением специальных добавок. Эти добавки не являются новыми изобретениями. Древние римляне использовали различные виды добавок к раствору для каменной кладки, такие как например кровь козы и свиной жир, для того, чтобы улучшить ее подвижность. Судя по тому, что конструкции сохранились по сей день, результаты очевидно были хорошие.

Добавки в бетоне начали применять даже раньше, чем портландцемент, но более строгие требования, предъявляемые к качеству бетона в течение последних 30 лет, ускорили исследования и производство различных добавок. Добавки, снижающие потребность в воде (пластификаторы), используются для повышения подвижности бетонной смеси и удобоукладываемости бетона. Пластификаторы могут существенно увеличить подвижность смеси даже с тем же водоцементным отношением; или же водоцементное отношение

ние может быть уменьшено для достижения такого же результата в части подвижности, как и для смеси без пластификатора. Снижение водоцементного отношения напрямую приводит к возрастанию прочности. Более высокая подвижность смеси увеличивает способность к перекачиваемости.

Мокрый способ набрызга привлекателен, поскольку смесь полностью готовится на бетонных заводах, где обеспечивается надежный контроль за вводимыми компонентами. Водоцементное отношение, один из основных показателей технологии по производству бетона, находится под контролем. Однако мы часто забываем, что современное оборудование требует достаточной подвижности бетонной смеси для подачи ее на длинные расстояния. К тому же, метод требует большее количество ускорителей схватывания и твердения бетона, что может привести к снижению прочности конечного продукта.

В настоящее время часто используются сочетания лигносульфоната, нафталина и меламина для достижения наилучшего и легкопроизводимого бетона. Нафталин/меламин (суперпластификаторы) отличаются от лигносульфоната(пластификаторов) по химическому составу. Они больше известны в качестве суперпластификаторов и, как следствие, их можно использовать в больших дозах не опасаясь при этом проблемы замедления схватывания или чрезмерного воздухововлечения, что часто связано с высоким процентом добавления обычных пластификаторов.

Кратко мы можем сказать, что меламин образует своего рода смазывающую пленку на поверхности частиц, нафталин электрически заряжает цементные частицы, чтобы они отталкивались друг от друга, а лигносульфонат снижал поверхностное натяжение воды. При хорошем распределении цементные частицы не только свободнее передвигаются относительно друг друга, но и покрывают заполнители более плотно. В результате получается плотный и прочный бетон.

Воздействие суперпластификаторов/пластификаторов на рассеивание тонких частиц делает их идеальными и необходимыми добавками для набрызгбетона. Повышение пластичности, которое достигается введением обычных суперпластификаторов, зависит от времени и температуры. Однако подвижность может поддерживаться только в течение ограниченного времени (20-90 минут) после смешивания, и чрезмерные дозы добавок могут привести к уменьшению сцепления и к сегрегации. Стандартной является доза от 4 до 10кг/м³, которая уточняется в зависимости от требований к качеству, от водоцементного отношения, а также от вида цемента и заполнителя.

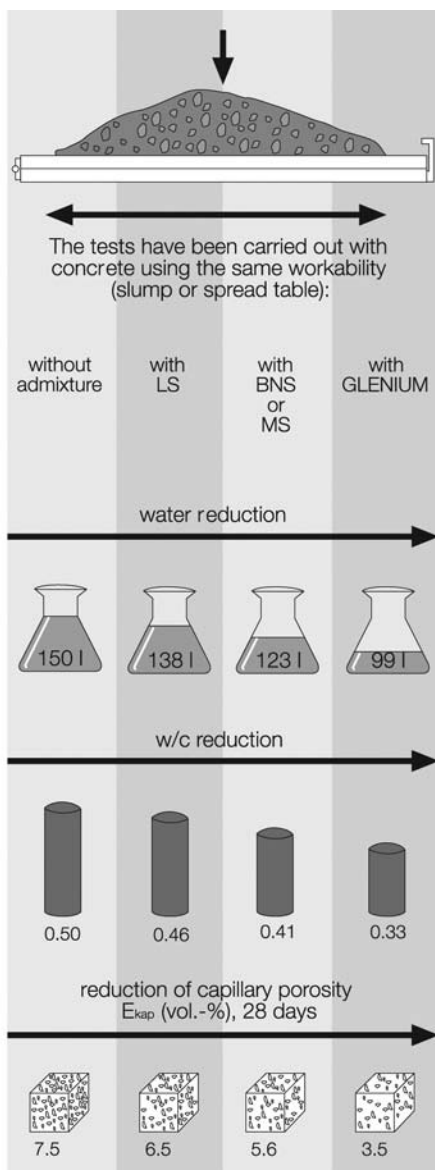


Рисунок 6: Сравнительный тест бетона в возрасте 28 суток с различными пластификаторами и суперпластификаторами показывает, что Glenium производит самую низкую капиллярную пористость по сравнению с обычными суперпластификаторами.

За последние годы появилось новое поколение суперпластификаторов высокой эффективности. Glenium является гиперпластификатором высокой эффективности, созданный на основе модифицированного поликарбонowego эфира. Он обладает способностью обеспечить значительное снижение потребности в воде и отличной способностью продолжительного использования без нежелательных побочных эффектов замедления схватывания бетона.

Glenium - это сложный и эластичный полимер, состоящий из функциональных групп цепей изменяющейся длины. Смешивание воды с цементом вызывает химическую реакцию (т.е. гидратацию). Вода впитывается, и быстро растворяется на поверхности цементных частиц. Молекулы Glenium притягиваются к поверхности цементных частиц во время смешивания и повышают отрицательный заряд на поверхности, что служит причиной электростатического отталкивания.

Это приводит к тому, что цементные частицы рассеиваются гораздо лучше, происходит поразительное улучшение удобоукладываемости несмотря на низкое водосодержание. У молекул Glenium очень длинные боковые цепочки, которые также создают стерические препятствия, что еще более повышает способность цементных частиц соблюдать между собой дистанцию и усиливает действие рассеивания.

Были проведены тесты бетона с одинаковой удобоукладываемостью (одинаковая осадка конуса, распределитель)

Without admixture-без примесей

with LS-с LS, with BNS or MS- с BNS или MS, with Glenium-с

Glenium water reduction-снижение водосодержания

w/c-reduction-снижение водоцементного отношения

reduction of capillary porosity- снижение капиллярной пористости(величина-в %),28 дней

Glenium обладает двойным механизмом, который обеспечивает длительное время удобоукладываемости свежей бетонной смеси. Будучи частью химического состава Glenium, во вторую очередь включается второй компонент, который вступает в реакцию после первого. Возрастающая щелочность в бетоне во время смешивания и укладки активизируется, и это приводит в действие второй компонент. Это заторможенное действие обеспечивает длительное время удобоукладываемости без обычных побочных эффектов: замедления сроков окончания схватывания и запоздалой начальной прочности.

Преимущества при использовании Glenium:

- высокие показатели в части снижения потребности в воде (>40%)
- низкая капиллярная пористость бетона
- длительная подвижность, с самым возможно низким водоцементным отношением
- хорошее сцепление, хорошая прокачиваемость смеси
- быстрый набор прочности

Glenium, поликарбон, уже широко применяется в сочетании с бесщелочными ускорителями. Он символизирует будущее в применении добавок при выполнении набрызгбетонных работ.

3.5.4 Традиционные ускорители схватывания

Мокрый способ набрызга требует добавления ускорителей схватывания и твердения у сопла для повышения производительности работ. Первичным действием этих продуктов является снижение оплывания смеси с поверхности в момент ее распыления, формирование пасты из жидкости в тот момент, пока бетон находится в полете, чтобы он прилипал к поверхности и способствовал увеличению толщины слоя.

Ускорители схватывания способствуют эффективному набрызгу на свод и на вертикальные поверхности. Раннее схватывание делает возможным применение набрызгбетона для первичной крепи горных выработок, что является основополагающим компонентом НАТМ. Фильтрация воды в водонасыщенных породах обычно требует более высокой пропорции добавок для ускорения схватывания набрызгбетона.

Ускорители вводятся в жидком виде с помощью специального дозирующего насоса (поршневого или винтового). Доза ускорителей может изменяться в зависимости от мастерства оператора, влажности и типа поверхности, а также водоцементного отношения (высокое водоцементное отношение повысит потребность в ускорителях для снижения консистенции).

Есть и другая сторона вопроса. Вторым действием традиционных ускорителей (на базе алюмината и жидкого стекла) является снижение конечной прочности (через 28 суток) в сравнении с бетоном не содержащим ускорителей. Следовательно, расход ускорителей всегда должен быть минимальным (расход на стенах меньше, чем на сводах).

Разница между алюминатами и модифицированными силикатами/жидким стеклом состоит в том, что ускорители на базе алюминатов участвуют в процессе гидратации и способствуют более высокой начальной прочности в течении первых 0.5-2 часов (1-2МПа).

3.5.4.1 Как происходит химическое действие алюминатов в процессе гидратации?

Клинкер портландцемента взаимодействует с водой, непосредственно превращаясь в застывшую массу, уже через несколько минут.

Вследствие этой быстрой реакции клинкеры используются только в некоторых особых случаях в качестве вяжущих бетона.

Чтобы они действовали известным образом, следует добавить 2-5% сульфата кальция(CaSO_4).

Сульфат кальция вступает в реакцию с алюминатом кальция C_3A , образуя одну из 4 важных фаз клинкера. Образованный эттрингит обволакивает каждую цементную частицу в виде плотной оболочки, которая замедляет, но не останавливает дальнейший доступ воды на поверхность цемента. Вследствие этого замедления реакции цементного теста, бетон поддерживает свою удобоукладываемость на определенное время.

Когда все сульфаты израсходованы и связаны в эттрингите, излишнее количество алюминатов опять вступает в реакцию с эттрингитом и превращает сульфаты в моносulfаты. Этот моносulfат лучше вступает во взаимодействие с водой, что позволяет дальнейшую и ускоренную реакцию гидратации цемента.

С введением ускорителей на базе алюминатов, требуемое содержание алюминатов для образования «моносulfатов» резко возрастает. Благодаря этому происходит нормальная гидратация цемента, что приводит к высокой начальной прочности на сжатие.

Обычное время схватывания бетона с ускорителями на базе алюминатов:

начало схватывания: <60 секунд

завершение схватывания : <3.5 минут

(*=Протестировано с помощью ручной испытательной машины vicat needle)

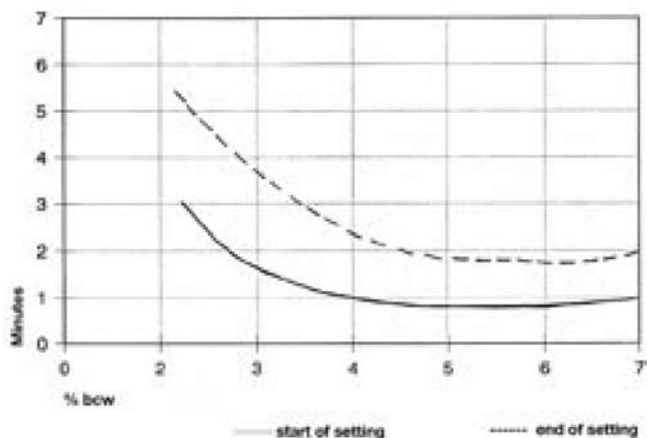


Рисунок 7: Процесс протекания схватывания бетона с жидким ускорителем на базе алюмината

Minutes- Минуты

Start of setting- Начало схватывания

End of setting- Завершение схватывания

Ускорители на базе алюминатов предпочтительнее использовать в слабых горных породах, где возможны значительные ее деформации и, следовательно, необходима высокая начальная прочность набрызгбетона и большая его толщина (>15см.) спустя короткое время после цикла разработки.

Ускорители на базе алюминатов увеличивают начальную прочность уже через 5 -10 минут и спустя 20-30 мин. прочность достаточная (>0.4 МПа), чтобы слой набрызгбетона выдержал свой собственный вес.

Следовательно, с ускорителями на базе алюминатов можно наносить более толстые слои по сравнению с модифицированным жидким стеклом. Типичная толщина слоя, которая может быть достигнута, колеблется от 20 до 50 см на сводах горных выработок.

Обычная процедура - это нанесение первого слоя 6-10 см на всю поверхность. К моменту завершения работ по нанесению первого слоя прочность бетона уже достаточно высокая для нанесения нового слоя толщиной 10 см. Этот процесс можно повторять до тех пор, пока не будет достигнута необходимая толщина.

Алюминаты также пригодны для использования при возникновении

проблем с водой. Обычная процедура набрызга, когда имеются подобные проблемы, проходит следующим образом – первоначально наносится тонкий слой набрызгбетона с передозировкой алюмината (8-10% от веса) и выжидается около 30 минут, пока этот слой не приобретет достаточную прочность, чтобы выдержать давление воды. Набрызг продолжается до тех пор, пока не достигается необходимая толщина.

Недостатки ускорителей на основе алюминатов:

- конечная прочность снижается больше, чем с модифицированным жидким стеклом (>30-50%)
- очень чувствителен к виду цемента, не действует со всеми видами цемента. Реактивность цемента должна быть испытана до начала набрызга
- высокий водородный показатель pH (>13), следовательно эти добавки агрессивны по отношению к коже, глазам и т.д.

Необходимо соблюдать особые меры предосторожности при применении ускорителей этого рода.

Рабочие, вовлеченные в процессы бетонирования, всегда должны носить защитные перчатки, маску и очки. Следует избегать прямого контакта продукта с кожей.

Типичные дозы ускорителей схватывания на базе алюминатов: 4-8% от веса цемента

Существует 2 вида ускорителей схватывания на базе алюминатов:

- алюминат натрия
- алюминат калия

Ускорители на базе алюмината калия действуют на большинство видов цемента и обычно дают более быстрое схватывание и высокую начальную прочность, чем ускорители на базе алюмината натрия.

Испытание на схватывание с ускорителями на базе алюминатов

- 1) 30-32 гр. воды
 - 2) 100 гр. цемента
 - 3) Смешивать 2-3 минуты до образования однородного теста
 - 4) Добавить 6 гр. ускорителя, используемого в проекте
 - 5) Интенсивно смешивать вручную максимум 15 секунд, так, чтобы ускоритель хорошо распределился в цементном тесте.
- Примечание: Не смешивать более 15 секунд, так как это может повредить свойства схватывания.

- 6) Сделать пирог из цементного теста и поставить его под испытательную машину Vicat
- 7) Использовать только ручную (не автоматическую) машину Vicat needle.
- 8) Определить начало схватывания и зарегистрировать результат. Игла должна остановиться на отметке 1-2 мм снизу
- 9) Определить окончание схватывания и зарегистрировать результат. Игла не может проникнуть в цементное тесто

Критерии схватывания

Начало схватывания

<30 секунд	хорошо
<60 секунд	удовлетворительно
>60 секунд	неудовлетворительно

Окончание схватывания

<3 минут	хорошо
<4 минут	удовлетворительно
>4 минут	неудовлетворительно

Основные критерии для ускорителей на основе алюминатов:

СЗА	5-10%, предпочтительнее 7-9 %
Удельная поверхность	>3500, предпочтительнее > 4000

Также в зависимости от смешивания зольной пыли, шлаков и гипса.

3.5.4.2 Модифицированные силикаты натрия / жидкое стекло

Модифицированный силикат натрия / жидкое стекло производит эффект мгновенного склеивания (< 10 секунд) набрызгбетонной смеси (потеря оползания) и не участвует в процессе гидратации как ускорители на основе алюминатов (если дозы не превышают 20% от веса).

Модифицированное жидкое стекло связывает воду в смеси. Поэтому доза зависит от водоцементного отношения: чем выше водоцементное отношение, тем больше требуется жидкого стекла для связывания воды и смеси. Модифицированное жидкое стекло не дает высокой прочности в течение первых 2-4 часов. В нормальном режиме окончание схватывания происходит в течение 30 минут и позднее (в зависимости от вида цемента и температуры).

Преимущества:

- взаимодействует со всеми видами цемента
- меньшее снижение конечной прочности, чем при использовании ускорителей на базе алюминатов, при обычных дозах (4-6%)
- очень хороший эффект склеивания
- не представляет опасности для окружающей среды и не агрессивен по отношению к коже. Водородный показатель $\text{pH} < 11.5$, и тем не менее следует избегать прямого контакта с кожей и всегда пользоваться защитными очками и перчатками
- содержание щелочи намного ниже, чем у продуктов на базе алюминатов ($< 8.5\% \text{ Na}_2\text{O}$)

Недостатки:

- зависимость от температуры (их нельзя применять при температуре ниже $+5^\circ\text{C}$)
- ограниченная толщина слоя, максимум 8-15см

3.5.4.3 Области применения

- для постоянного крепления
- для временного крепления там, где не требуется высокой начальной прочности (в прочных скальных породах)
- ремонтные работы
- в местах, где максимальная толщина в своде ограничена 10-15см

3.5.4.4 Типичные дозировки

Модифицированное жидкое стекло: 3-6 % от веса цемента

Как правило, жидкое стекло не должно применяться в больших дозах ($> 10-12\%$, часто 20%), это понижает прочность и дает плохое качество набрызгбетона. Стандартное жидкое стекло в большей или меньшей степени запрещено. Европейская Спецификация Набрызгбетона (EFNARC) позволяет максимальную дозу только 8% от весу вяжущего материала для использования жидких ускорителей.

Ошибочны утверждения некоторых европейских специалистов по набрызгбетону, которые считают, что качество бетона теряется больше с модифицированным жидким стеклом, чем с алюминатами. Их заключения основаны только на немногих лабораторных результатах с большими дозами жидкого стекла ($15-20\%$) и бетона с водоцементным отношением $0,7-0,8$. Это не имеет отношения к тому, что было сделано на практике, и поэтому неверно делать какие-либо выводы на этой основе.

Воздействие модифицированного жидкого стекла на понижение конечной прочности также зависит от условий твердения. С дозой 15 % от веса цемента может произойти 50 процентная потеря прочности; если образцы подвергаются твердению в присутствии воды потеря сокращается до 30%.

В большинстве случаев применение умеренной дозы жидкого стекла (3-6%) и при правильном контролировании качества приемлимые потери прочности составляют не более 20 %. На практике происходят потери в пределах от 10% до 15%.

Следует отметить, что проведенные недавно испытания образца набрызгбетона, выполненного мокрым способом, в возрасте 18 лет (в Норвегии) показали, что бетон обладает той же прочностью, что и образец в возрасте 28 суток. Это противоречит некоторым утверждениям. Качество бетона с модифицированным жидким стеклом не создает проблем вплоть до 60 МПа.

3.5.5 Бесщелочные набрызгбетонные ускорители

В последнее время забота о безопасности и экологии стала глобальной на рынке набрызгбетонных ускорителей и потребители уже не склонны применять агрессивные продукты. Например, во Франции, Швейцарии, Гон-Конге, Сингапуре и Австрии запрещено употреблять едкие (каустические) алюминаты из-за риска, возникающего для здоровья персонала.

Согласно сведениям, представленным в рабочей группе ИТА по набрызгбетону, в Вашингтоне, в 1996 г., одной из важных причин существования большого рынка мокрого способа в Бразилии является санитарная проблема. При сухом способе имеет место большое пылеобразование, что значительно ухудшает условия труда и приводит к ухудшению здоровья.

Кроме того, с каждым годом возрастают требования, предъявляемые к надежности и стойкости бетонных сооружений. Потери прочности в результате выщелачивания, из-за наличия сильных щелочных ускорителей, привели к необходимости в разработке продуктов с лучшими показателями.

Операторы по набрызгбетону смирились с излишним пылеобразованием и другими проблемами, такими как ожоги кожи, риск потери зрения и даже риск повреждений вследствие падения камней с кровли, особенно при сухом способе набрызга с использованием едких алюминатов, и при ежедневной работе. Неприемлимость этих негативных условий стала международной тенденцией, что приводит к значительным и частым изменениям в технологии работ.

За последние десятилетия появилась крайняя необходимость в разработке безопасных ускорителей набрызгбетона с лучшими свойствами. В настоящее время доступны хорошо действующие жидкие бесщелочные и некаустические добавки, которые обеспечивают надежность и высокое качество работ и, одновременно, являются весьма экономически эффективными для применения. Уже непростоительно применение опасных продуктов, таких как обычные едкие алюминаты и каустическое индустриальное жидкое стекло. Автор является сторонником полного запрещения подобных продуктов. BASF по-прежнему продает едкие алюминаты, но только по непосредственным заказам клиентов и не проводит никакой рекламы. Это приводит к сокращению объема продаж вредных добавок и более быстрой их замене жидкими бесщелочными и некаустическими ускорителями, производимыми BASF.

Ответственность за улучшение применения набрызгбетона, как и воздействие на окружающую среду, а также безопасность рабочих теперь полностью лежит на Заказчиках, разработчиках вредных добавок и Подрядчиках.

Понятно, что в результате своего сложного химического состава, бесщелочные ускорители дороже традиционных. Однако цены ускорителей оказывают совсем незначительное влияние на общую стоимость нанесенного набрызгбетона. Более существенные последствия заключаются в достигнутой экономии времени и сокращении отскока, в повышении качества и в безопасности для окружающей среды.

3.5.5.1 Пылеобразование

Выбор мокрого способа набрызга, так же как и замена едких алюминатов жидкими некаустическими и бесщелочными продуктами, есть большой прогресс на пути к улучшению условий производства работ. Значительно снижается пылеобразование и уменьшаются потери бетонной смеси в связи с меньшим отскоком. Ожоги кожи можно отнести к проблемам прошлого.

Измерения пыли в Тоннеле Северного Мыса в Норвегии (глава 3.5.5.10), где применяется высококачественный мокрый способ набрызга с некаустическим бесщелочным ускорителем марки MEYCO*SA160, свидетельствуют о содержании пыли менее 3,7 мгр. на м³ воздуха в непосредственном окружении оператора. Этот показатель в 2 раза ниже измерений, полученных при использовании ускорителей модифицированного силиката в тех же условиях. См. рисунок 8.

Трудно найти прямые сравнения измерений пыли в равных условиях в том же тоннеле. Можно привести один пример-отчет дипломированного инженера Markus Testor в тоннеле Irlahul в Германии. Пылеобразование было измерено для трех методов:

- 1) Сухой способ набрызга с заполнителями, высушенными в печи и смешанными с цементом марки Schwenk CEM 32.5 R/SE, используя Передвижной Распылитель Rombold
- 2) Сухой способ набрызга с естественно влажными заполнителями и Heidelberg Trixer с SBS, набрызгбетон-машина Типа B1.
- 3) Мокрый способ набрызга с цементом марки Karstadt CEM 42.5, жидким бесщелочным ускорителем MEYCO* SA 140 и с автоматизированной установкой MEYCO на колесном ходу. Измерения производились с помощью оптического инструмента для измерения пылеобразования. Результаты относительной интенсивности пыли, измеренной в непосредственном окружении оператора:

Способ Набрызга	Относительная интенсивность пыли	Производительность набрызга	Сопло
1) (сухой)	12.6	13,5 м³/ч	2
2) (сухой)	6.6	6,8 м³/ч	1
3) (мокрый)	3.3	15,4 м³/ч	1

Другой пример измерений пылеобразования, проведенных в Скандинавии с 1979 по 1998 гг.,см. Рисунок 8.

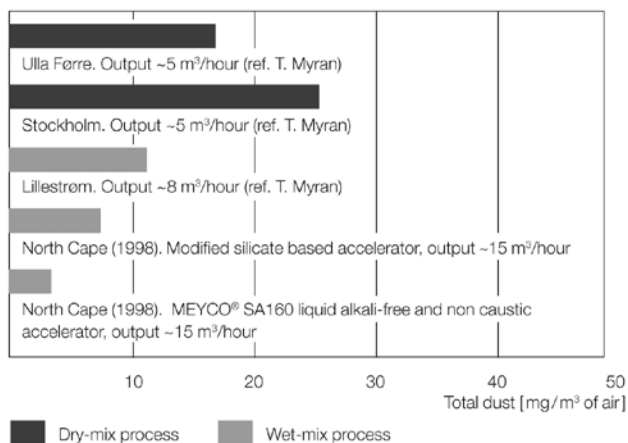


Рисунок 8: Сравнение сухого и мокрого набрызгбетонирования, с ускорителями различного вида, основано на некоторых примерах измерений пылеобразования, проведенных в Скандинавии в 1979 –1998 гг. Применение мокрого способа набрызгбетонирования в Тоннеле Северного Мыса производилось в идентичных условиях (оборудование, оператор, вентиляция тоннеля, производительность работ и проектная бетонная смесь).

Ulla Forre.Output-5m³/hour(ref.T.Myran)-Ulla Forre. Производительность –5 м³ в час (ссыл. Т.Миран)

Stockholm.Output-5m³/hour(ref.T.Myran)- Стокгольм. Производительность 5 м³ в час (ссыл. Т.Миран)

Lillestrom.Output-8m³/hour(ref.T.Myran)- Lillestorm. Производительность 8 м³ в час (ссыл. Т.Миран)

North Cape (1998). Modified silicate based accelerator, output-15m³/hour- Северный Мыс(1998г.). Ускоритель на базе модифицированного силиката, производительность-15 м³ в час.

North Cape(1998).MEYCO*SA160 liquid alkali-free and non caustic accelerator,output-15 m³/hour-Северный Мыс (1998г.)

Жидкий бесщелочной некаустический ускоритель MEYCO*SA160,производительность-15 м³ в час

Total dust (mg/m³ of air)- Общее пылеобразование (мг/м³ воздуха)

Dry-mix process- Сухой способ

Wet-mix process- Мокрый способ

3.5.5.2 Неправильное истолкование терминов некаустический/бесщелочной с точки зрения химии

В контексте ускорителей для набрызгбетона подлинное значение терминов некаустический и бесщелочной часто используются неверно. Причина - в двойственном значении слова «щелочной» в профессиональном английском языке. Термин «щелочной» можно понимать как:

1) жидкость-основание (с водородным показателем pH от 7 до14). Например, окись кальция растворенная в воде, производит высокую концентрацию ионов OH с водородным показателем pH примерно 13. Этот раствор чрезвычайно щелочной, но он не содержит щелочных катионов.

2) раствор, содержащий щелочные катионы, такие как Na⁺, K⁺, Li⁺. Примером может послужить обычная соль, растворенная в воде (раствор поваренной соли). Этот раствор содержит щелочные катионы: его водородный показатель приблизительно 7, поэтому он является нейтральным.

Щелочность и содержание щелочи - 2 разных независимых свойства! Для ускорителей набрызгбетона термин «бесщелочной» должен иметь только одно значение: ускоритель не содержит (или содержит меньше 1%) щелочных катионов (см. пункт 2 выше).

Причина в том, что это снижает риск взаимодействия щелочных катионов с чувствительными минералами (растворимый кремнезем, SiO_2), которые иногда содержатся в заполнителях бетона. Если такая реакция происходит, частицы заполнителя ломаются из-за набухания и изменения внутренних напряжений. Это оказывает вредное влияние на цементную матрицу набрызгбетона.

Имеется много ускорителей с высоким щелочным водородным показателем pH 12-14. Их можно выразить такими терминами как едкие, агрессивные или, в некоторых случаях, коррозионные, однако термина «щелочные» необходимо избегать. Также существуют примеры ускорителей, которые являются сильно кислотными (с водородным показателем pH 0-2). Их можно выразить терминами кислотные, агрессивные или коррозионные. Предпосылкой важности этого свойства служат обеспечение нормальной рабочей среды и безопасность.

Сильные кислоты, как и сильные основания (щелочи), могут представлять опасность для персонала из-за агрессивности при контакте с глазами, кожей и органами дыхания. Следовательно, в этом отношении надо употреблять общие термины «нейтральные» (водородный показатель pH 5-9) и «агрессивные» (водородный показатель pH 0-4 и 10-14).

Таблица 2: Коррозийность :Шкала водородного показателя pH

0	7	14
Кислотная	нейтральная	основная (щелочная)
Агрессивность/коррозийность	Не коррозионная/и не агрессивная	Агрессивная/коррозийная
по отношению к :		
Стали		Алюминию
Бетону		Глазам и коже
Глазам и коже		Дыхательным органам
Дыхательным органам		

Примеры водородного показателя pH:

1	4	7	10	12	14
серная кислота	уксусная кислота	вода	сода	цементное молоко	едкий натр
соляная кислота	аммиак		аммиак		каустическая сода

3.5.5.3 Некаустические бесщелочные ускорители в жидком виде

Возрастающая потребность в ускорителях для набрызгбетона, называемых бесщелочными, всегда приводит к одному (или более) из следующих результатов:

- 1) снижению риска реакции между заполнителем и щелочью путем устранения щелочного содержания, вследствие замены их обычными алюминатами
- 2) повышению рабочей безопасности путем понижения агрессивности ускорителей и устранения опасности ожогов, потери зрения и проблем с органами дыхания
- 3) защите окружающей среды путем сокращения количества вырабатываемых агрессивных и других вредных компонентов (при набрызге и отскоке материала) - проникновением их в грунтовую воду
- 4) снижению потерь конечной прочности набрызгбетона, обычно в пределах от 15 до 50%, в случае применения устаревших ускорителей

На каждом объекте строительства внимание уделяется одному из вышеназванных моментов. Если наибольший объем набрызгбетона применяется для первичной крепи (временной, но не постоянной), то самыми важными являются пункты 2 и 3. При использовании набрызгбетона для постоянной отделки, пункты 1 и 4 становятся важными в равной степени. Эта вариация является главной причиной в замешательстве на пути использования нового типа ускорителей.

Примеры требований к набрызгбетону для различных стран.

В некоторых странах практически весь объем использованного набрызгбетона в тоннелестроении определяется как временный и не учитывается в проектировании постоянной отделки. Поэтому проблемы долговечности, которые могут возникнуть вследствие реакции щелочного заполнителя в набрызгбетоне, несущественны.

Тем не менее, потребность в бесщелочных ускорителях возраста-

ет, так как учреждается законодательство для повышения требований рабочей безопасности. Выражаясь иначе, требуются неагрессивные типы ускорителей.

В других странах преобладает подобное применение набрызгбетона, но пока нет никаких законов, запрещающих агрессивные ускорители.

Но руководствуясь проблемой защиты окружающей среды (грунтовой воды), власти требуют применения безопасных (бесщелочных) ускорителей.

Кроме цемента не должны применяться никакие добавочные щелочные компоненты с высоким водородным показателем pH. В данном случае фактическая потребность заключается в неагрессивных ускорителях.

Существуют также страны, где набрызгбетон, применяемый в тоннелестроении, большей частью является временной крепью, но в то же время включается в работу постоянной обделки, и к нему предъявляются требования наличия бесщелочных ускорителей, не содержащих катионов щелочи, во избежание агрессивных компонентов воздействия на постоянную обделку конструкции и снижения ее конечной прочности. Что касается безопасности персонала, то на данный момент не существует законов, ограничивающих использование агрессивных продуктов.

Типичная ситуация 1:

Практическая ситуация

в вышеназванных случаях обстоит следующим образом:

Набрызгбетон наносится непосредственно на арматурные сетки, решетчатые формы или стальные арки, непосредственно в зоне забоя и толщиной, превышающей 150 мм. В этом случае высокая начальная прочность часто является обязательным условием для безопасности работ.

При проходке тоннелей Лондонского метро обычная последовательность с применением набрызгбетона следующая: сначала наносится первичный слой набрызгбетона, служащий временной крепью. Пока нет законов, требующих использования бесщелочных ускорителей для этой цели. Тем не менее, вследствие весьма хороших результатов набрызгбетона, его применение для постоянных обделок вызывает возрастающий интерес, как описывается Annett и Varley.

Для разработки высококачественного и прочного бетона с ограниченным снижением конечной прочности, требовался "бесщелочной" ускоритель.

В этом случае (Jubilee Line, Контракт 104) первичная цель бесщелочного ускорителя заключалась в повышении долговечности конструкции путем устранения катионов щелочи. В тоннеле Heathrow Express был сооружен участок постоянной обделки из набрызгбетона с бесщелочным ускорителем. Все больше постоянных обделок из набрызгбетона стало применяться и в других странах на различных объектах строительства, и особенно в Скандинавии.

Эти примеры можно интегрировать в следующую Типичную Ситуацию:

Практически ситуация такова:

Регулярное применение на сравнительно больших площадях, вслед за продвижением забоя тоннеля, частично на арматурные сетки и решетчатые формы, но в значительной степени с использованием армирования стальными фибрами. Количество и толщина слоев варьируется, поэтому не требуется высокой начальной прочности.

В Скандинавии для тоннелей мелкого заложения является стандартной крепь, называемая однослойной, из одного или нескольких слоев.

Такой подход привлекает все больше внимания и в других частях света. Главным образом это говорит о том, что применение набрызгбетона в зоне забоя проводится соответственно требованиям к качеству, позволяя считать его частью конечной и постоянной обделки набрызгбетона. "Однослойная обделка" означает единую структуру, которую можно получать путем нанесения нескольких слоев набрызгбетона (у забоя и, позднее, с отставанием от него), см. главу 9.

Автодорожные и железнодорожные тоннели, подводные тоннели и трубопроводы, гидротехнические тоннели, подземные объекты, такие как Олимпийский центр Gjøvik и др. служат примерами такого подхода в Норвегии.

В случае однослойных постоянных обделок набрызгбетона применимы обе вышеуказанные типичные ситуации. Несмотря на различия в ситуациях, требования к качеству остаются одинаковыми на протяжении всего времени строительства. Различные практические требования могут нуждаться в различных ускорителях на разных стадиях строительства, и зависит это от вида цемента и других частных требований. Поэтому тесты с разнообразными ускорителями ясно показали, что невозможно создать единый продукт для различных условий его применения.

Свойства

BASF достигла высоких научных результатов, разработав ряд жидких бесщелочных и некаустических ускорителей для сухого и мокрого способов набрызга. Однако исследования компании продолжают, так как порошкообразные продукты очень тяжело использовать в практической деятельности.

В отличие от большинства обычных ускорителей, бесщелочные и некаустические продукты от BASF не влияют (или оказывают минимальное влияние) на снижения конечной прочности бетона.

Требования, предъявляемые к конечной прочности набрызгбетона, например для однослойной постоянной набрызгбетонной отделки, можно уменьшить. Однако самым важным новшеством бесщелочных ускорителей, разработанных BASF, является повышение безопасности работы в рабочей зоне: операторам не угрожает опасность ожогов кожи.

Таблица № 3

	MEYCO*	MEYCO*	MEYCO*	MEYCO*
	SA160	SA161	SA162	SA170
Физическая форма (1)	жидкость	жидкость	жид- кость	жидкость
Щелочные катионы (2)	<0.5 %	<0.5%	<0.8%	<0.5%
Водородный показатель pH при температуре +20°C,				
соотношение с водой 1:1 (3)	2.5-3.5	3.0-4.0	2.4-3.4	3.2-4
Толщина слоя (4)	300 мм	300-500 мм	300-700 мм	300-700 мм
Доза(5)	4-10%	3-8%	3-7%	3-7%
Набор начальной прочности(6)	хороший	очень	хороший	превосх
Разъедаемость (7)	высокая	высокая	умерен- ная	не на- блюда- ется
Оборудование(8)	нержа- вующее	нержавею- щее	нержа- вующее	стандарт- ное
На кожу(9)	не опреде- лено	не опреде- лено	не опреде- лено	не опред.
Обращение(10)	обычное	обычное	обычное	обычное
Действие с цементом(11)	нет	нет	нет	нет

Примечание :

(3) MEYCO * SA 160/SA 161/SA 162/SA 170 обладают водородным показателем pH от 2.5 до 4.0 и, следовательно, являются кислотными.

Они недостаточно агрессивны, чтобы существенно воздействовать на кожные покровы, однако MEYCO* SA 160/ SA 161/SA162 агрессивны к стали, и это требует применения стали, стойкой к действию кислот, для оборудования, находящегося в прямом контакте с этими продуктами (до набрызга). При подаче бесщелочных ускорителей к соплу они тотчас нейтрализуются цементом, насыщенным щелочью. Нет риска коррозии для стальной арматуры.

(4) Была определена минимальная толщина слоя, наносимого на свод за один прием для различных видов цемента. С подходящими видами цемента эту толщину можно существенно увеличивать, при правильном применении

MEYCO* SA 160/SA 161/SA 162/ SA 170, до 700 мм за один прием.

(5) Дозирование производится от веса вяжущего вещества (цемент + любая пуццолановая добавка). Низкая стоимость достигается путем выбора необходимой марки цемента (высокая степень совместимости), тогда как максимальное дозирование необходимо с цементом худшего качества или при необходимости достижения высокой начальной прочности.

Стоит упомянуть, что дозирование выше максимальной степени не улучшает качества, но приводит к оплыванию набрызгбетона, большому отскоку и ухудшает конечную прочность.

В рекомендованном объеме дозирования не происходит критических потерь конечной прочности. В некоторых случаях конечная прочность бетона даже превышает ту, что наблюдается у того же бетона, но без ускорителей.

(6) Для всех ускорителей наблюдается быстрый набор прочности в начальный период твердения от 1 часа и более. Скорость в небольшой степени определяется несколькими первыми минутами, и может рассматриваться как параллель возможной толщины слоя, который может быть нанесен на свод выработки.

MEYCO * SA 160/ SA161/ SA162/ SA 170 действуют весьма эффективно почти со всеми видами цемента и имеется ввиду, что они дают такие же или даже лучшие результаты чем едкие алюминаты.

(11) MEYCO * SA 160/ SA 161/ SA 162/ SA 170 действуют со многими видами цемента и даже со смешанными видами цемента, создающими трудности со всеми другими ускорителями, они часто взаимодействуют очень хорошо.

3.5.5.4 Бесщелочные порошкообразные ускорители

Порошкообразные ускорители приводят к множеству практических ограничений, таких как:

- затраты на дополнительные оборудования для дозирования
- необходимость в дополнительных людских ресурсах для введения ускорителя в дозирующее устройство/шприцбетонашину
- требуются более высокие дозы: приблизительно 7-10% от веса вяжущего
- расходуется больше сжатого воздуха при подаче в дозирующее устройство (4-5 м³/мин)
- выше степень отскока. Как показывает практический опыт, отскок увеличивается на 10-15 % по сравнению с бесщелочными ускорителями
- применение порошкообразных ускорителей не практично в современном скоростном тоннелестроении, где выполняемый мокрым способом и армированный стальными фибрами набрызгбетон, наносимый с высокой интенсивностью, играет важную роль. Доставка оборудования в забой и подготовка к работе после каждого цикла набрызга создает много сложностей и поглощает много времени
- в дополнение ко всем этим практическим и экономическим ограничениям, порошкообразные продукты создают проблемы для окружающей среды. Они производят много пыли и, следовательно, создается плохая рабочая обстановка.

3.5.5.5 MEYCO* SA160/ SA 161/ SA 162/ SA170: чувствительность к виду цемента

MEYCO* SA160/SA 161/ SA 162/ SA 170 могут использоваться с большинством видов цемента СЕМ 1-4 (даже со смешанным и сульфатостойким). Рекомендуется проводить испытания на совместимость с цементом перед каждым применением набрызгбетона с MEYCO* SA160/SA 161/ SA 162/ SA 170.

Испытания на совместимость проводятся следующим образом:

Тест цементной реактивности бесщелочных ускорителей (MEYCO* SA 160/ SA 161/ SA 162/SA 170)

(Оборудование: емкость для смешивания, закругленная лопаточка, ручная игла Vicat, секундомер, пробные стаканы)

В цементном тесте:

- 1) 26-35 гр. воды
- 2) 1гр. Glenium T 801 или подобный ему суперпластификатор

- 3) 100 гр цемента(+20*С +/- 1°С)
- 4) смешивать интенсивно до образования однородного теста
- 5) добавить 3-10 гр. ускорителя и смешивать максимум 5 секунд
- 6) сразу после смешивания: заполнить пробный стакан, поставить его под иглой Vicat и начать измерение проникания
- 7) зарегистрировать начало схватывания (игла останавливается на измерении 1-2мм снизу цементной массы)
- 8) Зарегистрировать окончание схватывания (игла не может проникнуть в цементную массу).

Толкование результатов:

Начало схватывания	< 2 мин.	< 4 мин.	>4 мин.
Окончание схватывания	<5 мин.	<8 мин.	>8 мин.
Оценка	хорошо	удов.	удов.

В строительном растворе (согласно EN 196-1):

(Оборудование: мешалка Hobbart, ручная игла Vicat, призма)

- 1) налить 195 гр воды в мешалку, добавить 2-6 гр пластификатора (Glenium T 801 или ему подобный), 450 гр цемента (+20*С+/- 1*С) и перемешивать 30 секунд
- 2) добавить 1350 гр обычного песка (нормальный песок) и перемешивать 30 секунд
- 3) перемешивать равномерно 30 секунд
- 4) прекратить перемешивание на 90 секунд
- 5) возобновить перемешивание на 30 секунд
- 6) проверить текучесть раствора (согласно EN 196-1). Требуемая подвижность 15-18 см, при необходимости можно регулировать добавлением воды
- 7) добавить 3-10% ускорителя и перемешивать максимум 15 секунд
- 8) сразу после перемешивания приготовить пробную призму
- 9) заполнить призмную форму на вибрационном столе, чтобы исключить некачественное заполнение при укладке
- 10) расположить ее под ручной иглой Vicat и начать измерение проникания
- 11) зарегистрировать начало схватывания (игла останавливается на измерении 1-2 мм снизу цементной массы)
- 12) зарегистрировать окончание схватывания (игла не может проникнуть в цементную массу)
- 13) измерить прочность сжатия через 6 часов и через 24 часа

Объяснение результатов:

Начало схватывания	< 2мин	2-5мин	>5 мин
Конечное схватывание	< 6 мин	8-13мин	>13 мин
Прочность через 6 часов	2,5-4 МПа	1-2,5 МПа	<1 МПа
Прочность через 24 часа	18-25 МПа	10-18 МПа	<10 МПа
Оценка	хорошо	удов.	удов.

Примечание:

Если сроки схватывания не пригодны, 24-часовая прочность все еще может быть достаточной. Даже с медленным схватыванием представляется возможным нанести слой до 5-7см на стены или до 3-5 см на свод.

Во многих случаях эти тесты не срабатывают должным образом, так как период гелеобразования (схватывания) является слишком коротким для тщательного перемешивания. Для этих случаев MBT разработал приборы Viper, позволяющие тестировать цементный раствор даже при быстрых темпах схватывания.

3.5.5.6 Сравнение результатов начальной прочности с традиционными ускорителями на базе алюминатов

Прочность на сжатие, и особенно начальная прочность, является одним из самых важных параметров из свойств набрызгбетона, используемого для крепления горных выработок. Оно также является одним из самых важных свойств, которые можно изменить введением ускорителей. Был проведен ряд испытаний для определения эффективности новых бесщелочных ускорителей MEYCO*SA. Начальную прочность набрызгбетона в течении первых 24 часов измеряли для MEYCO*SA160 и традиционных ускорителей набрызгбетона имеющихся на рынке (Активатор Delvo*crete S71(алюминат калия) и S 51(алюминат натрия).

Все ускорители были опробованы с одинаковым составом бетонной смеси (водоцементное отношение и т.д.) и все испытания производились в одинаковых условиях и с использованием одинакового оборудования.

Все работы по набрызгу выполнялись с использованием одной машины MEYCO Suprema и одним и тем же сопловщиком. Условия твердения и температура были идентичны для всех ускорителей. Испытание начальной прочности проводилось Иглой Проникания MEYCO (вплоть до 0.8-1.0 МПа) и Hilti(от1.0 МПа). Все тесты проводились одним работником.

Результаты испытания.

Различные виды ускорителей не дают существенную разницу в части конечной прочности бетона. Очевидно, при использовании активатора Delvo*crete S 71/S 51 (алюминатов) происходит более быстрый набор прочности в течение первых двух часов, но далее рост идет значительно медленнее, чем у всех других ускорителей. У всех ускорителей наблюдается радикальное повышение прочности через 4-5 часов от 1-2 до 8-10 МПа. Наилучшие результаты после 4-6 часов были достигнуты с MEYCO SA 160.

Проектирование бетонной смеси.

Цемент марки CEM I 42,5 (OPC)	425 кг
Заполнитель (0-8мм)	1713 кг
Суперпластификатор Rheobuild 1000	1,5 %
Стабилизатор Delvo*crete	0,2 %
Водоцементное отношение	0,47-0,48
Осадка конуса	20 см
Расстояние	51 см

Измерения прочности на сжатие (при температуре +20°C)

Вид и доза	Прочность в возрасте						
	15 мин	30 мин	1ч	4ч	6ч	12ч	24ч
Активатор Delvo*creteS 71							
4%	1.2	1.4	2.0	6.5	6.5	8	10.2
5%	1.0	1.0	1.2	6.5	6.5	7.5	10.6
Активатор Delvo*creteS 51							
4%	1.0	1.2	1.2	2.0	5.5	8.0	15.3
5%	1.0	1.2	1.2	2.0	4.0	7.5	14.4
MEYCO*SA 160							
6%	0.5	0.7	0.8	0.9	6.0	20.0	20.5
9%	0.8	1.2	1.2	1.4	8.0	19.0	22.5

*Все результаты в МПа. Проникающая игла /Hilti MEYCO.
Для каждого результата производилось 10 измерений.*

Набор начальной прочности

Early strength development

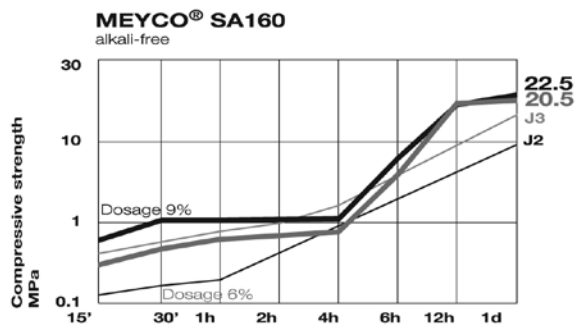


Рисунок 9: Набор начальной прочности MEYCO® SA 60 при температуре +20°C

MEYCO®SA160 alkali-free- Бесщелочной MEYCO®SA160

Dosage 9%- Доза 9%

Compressive strength MPa – Прочность на сжатие МПа

15»- 15 мин.

1h- 1 час

2h- 2 часа

4h- 4 часа

6h- 6 асов

12h-12 часов

1d- 1день

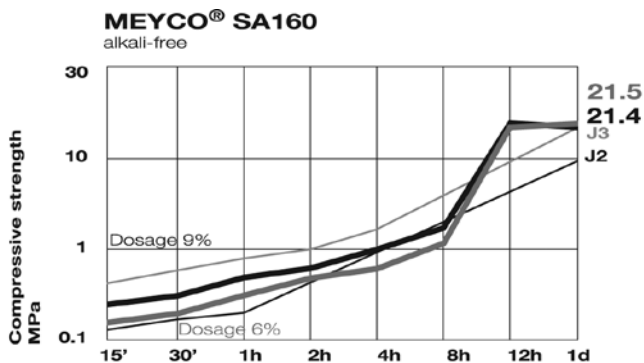


Рисунок 10: Набор начальной прочности MEYCO® SA160 при температуре ниже +10°C.

3.5.5.7 Дозировки и оборудование

Указания по дозированию

Продукт	Доза(уск./цемент по весу)	Метод на-брызга	Способ введения
MEYCO* SA 160	4-10%	мокрый	Желательно у сопла
MEYCO* SA 160	3-10%	сухой	У сопла вместе с водой (также как ускорители на базе алюминатов)
MEYCO* SA 161	3-8%	мокрый	Желательно у сопла
MEYCO* SA 161	3-8%	сухой	У сопла вместе с водой (также как ускорители на базе алюминатов)
MEYCO* SA 162	3-7 %	мокрый	Всегда у сопла
MEYCO* SA 162	3-7 %	сухой	У сопла вместе с водой (также как ускорители на базе алюминатов)
MEYCO* SA 170	3-7%	мокрый	Всегда у сопла
MEYCO* SA 170	3-7 %	сухой	У сопла вместе с водой (также как ускорители на базе алюминатов)
MEYCO* SA 540/ SA 545	5-10 %	сухой	Вручную или с помощью особого оборудования дозирования порошка, вводимого в смесь перед ее подачей к машине набрызга

Примечание: Все детали оборудования, имеющие непосредственный контакт с MEYCO*SA 160/ SA 161/ SA 162 должны быть изготовлены из нержавеющей стали.

Очистка насоса-дозатора при применении
MEYCO*SA160/SA 161/ SA 162 /SA 170

При применении MEYCO* SA160/SA 161/ SA 162 /SA 170 дозирующий насос, включая все шланги и клапаны, должны тщательно

промываться водой до начала набрызга. Следует удостовериться на 100%, что очистка произведена при обильном использовании воды.

Вся система должна промываться водой ежедневно, иначе система дозирования засорится.

Все работники, вовлеченные в проведение тестов с применением MEYCO SA160/SA 161/ SA 162 /SA 170 должны быть проинформированы об этом.

Типы дозирующих систем для MEYCO*SA160/SA 161/ SA 162 MEYCO* SA160/SA 161/ SA 162 являются дисперсиями и, следовательно, не все виды насосов-дозаторов будут работать надлежащим образом. Для достижения хорошего результата чрезвычайно важно обеспечить регулярное и точное дозирование.

Мы рекомендуем следующие виды:

Хорошо зарекомендовали себя:

- Шнековые насосы
- Перистaltические насосы

Могут быть применимы:

- Мембранные насосы

Нельзя применять:

- Поршневые насосы
- Все устройства с вмонтированной клапанной системой
- Напорные баки.

При переходе от одного ускорителя/активатора к другому вся система дозирования должна тщательно промываться (включая всасывающий шланг) во избежание любой возможной химической реакции и засорения системы.

Примечание:

Нельзя устанавливать фильтр на всасывающем шланге, так как это приводит к преграждениям. Следует избегать высасывания прямо со дна смесительной емкости.

При использовании MEYCO*SA160/SA 161/ SA 162 следует применять оборудование из нержавеющей стали или другого защищенного от коррозии материала.

3.5.5.8 Совместимость с другими ускорителями

Ускорители MEYCO*SA160 /SA 161/SA 162/SA 170 нельзя смешивать с другими ускорителями, так как это приведет к немедленному засорению насосов и шлангов.

Перед применением MEYCO SA160 /SA 161/SA 162/SA 170 дозирующий насос, шланг для ускорителя, сопло и глушитель пульсации должны прочищаться самым тщательным образом и не содержать никаких остаточных продуктов.

Эта процедура должна производиться при переходе от MEYCO SA160 /SA 161/SA 162/SA 170 к другим ускорителям.

Ускорители MEYCO*SA160 /SA 161/SA 162/SA 170 совместимы друг с другом и не требуют промывки оборудования или шлангов при переходе от одного продукта из этой серии к другому. Тем не менее, не рекомендуется хранить совместно смешанные бесщелочные ускорители.

3.5.5.9 Особые требования, предъявляемые к применению MEYCO*SA 160/SA 161/SA 162/SA 170 для мокрого набрызга

Состав смеси

- минимальный объем цемента: 400 кг, желательно 450 кг.
- при мокром набрызге водоцементное отношение должно всегда быть в пределах 0,4-0,5. Следует учитывать содержание влаги (воды) в заполнителях.

Чем ниже водоцементное отношение, тем лучше достигнутые результаты:.

- более быстрое схватывание
- более высокая начальная прочность
- более низкое содержание добавок
- возможность нанесения более толстых слоев по своду

Результаты, когда водоцементное отношение >0,5:

- более медленное схватывание
- начальная прочность ниже
- возникновение трудностей при нанесении слоев толщины более 5-7см: бетон не имеет достаточного сцепления с поверхностью гор-

ных выработок

- Температура:

Более медленный набор прочности наблюдается при низких температурах в сравнении с другими видами ускорителей

Совместимость ускорителей

MEYCO*SA 160/SA 161/SA 162/SA 170

Все виды примесей, включая Стабилизатор Delvo*crete, могут использоваться с ускорителями MEYCO*SA160 /SA 161/SA 162/SA 170 .

Хранение MEYCO*SA 160/SA161/SA162/SA 170

Их всегда необходимо смешивать только перед употреблением. Противопоказано хранить MEYCO*SA 160/ SA161/ SA 162 в стальных баках. При хранении MEYCO* SA 170 не требуется особых мер предосторожности.

Меры безопасности

MEYCO*SA 160/ SA161/ SA 162 /SA 170 не каустические (едкие) продукты, не содержат опасных веществ и не нуждаются в нанесении предупреждающих отметок или в особых мерах предосторожности.

3.5.5.10 Типичные результаты испытаний в полевых условиях

А) MEYCO*SA 145

Heathrow Express, Contract C/D, Лондон

Цемент марки OPC 42.5N	355 кг/м ³
------------------------	-----------------------

Микросилика в виде пасты	60 кг/м ³
--------------------------	----------------------

Заполнитель(0-8 мм)	1670 кг/м ³
---------------------	------------------------

Стальные фибры (Dramix 30 / 50)	40 кг/м ³
---------------------------------	----------------------

Суперпластификатор Rheobuild 2000PF	9,6 кг/м ³
-------------------------------------	-----------------------

Стабилизатор Delvo*crete	4 кг/м ³
--------------------------	---------------------

водоцементное отношение	<=0.40
-------------------------	--------

Добавка, вводимая у сопла:

MEYCO*SA 145	25 кг/м ³
--------------	----------------------

	Автоматизированный набрызг	Ручной набрызг
Прочность на сжатие:		
в возрасте		
12 часов	14,5 МПа	7,0 МПа
24 ч	35,5 МПа	19,0 МПа
3 суток	43,5 МПа	35,5 МПа
28 суток	50 МПа	
100 суток	58 МПа	
120 суток	62 МПа	

Набрызгбетонирование с помощью автоматизированных установок дало значительно лучшие результаты по прочности (улучшение на 100,87 и 23% спустя 12 ч., 24 ч. и 3 суток соответственно). Мы полагаем, причиной этому это являются уменьшение рабочей нагрузки и неудобств для оператора сопла, который соблюдает правильную дистанцию и угол нанесения.

В) MEYCO*SA160 **Тоннель Huslen, Швейцария**

Цемент марки 42,5(Siggenthal), медленно схватывающийся Rheobuild T3(=суперпластификатор+ стабилизатор Delvo*crete)	450 кг/м³ 1,2% (гидратация прекращается в в течении 6 часов)
Водоцементное отношение	0,41
Расстояние	56см
Температура воздуха	+13°C
Толщина нанесенного слоя	150мм
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 160	5%
Прочность на сжатие	
в возрасте	
12 ч (Hilti)	18,5 МПа
24 ч (Hilti)	23,5 МПа
3 суток	45,0 МПа
7 суток	49,0МПа
28 суток	61,0 МПа

**NEAT, промежуточный подходной тоннель,
Sedrun, Швейцария**

Цемент, CEM I 42.5	450 кг/м ³
Микросиликат	50 кг/м ³
Заполнитель(0-8мм.)	1644 кг/м ³
Rheobuild T3	1,2%
Водоцементное отношение	0,47
Расстояние	53 см
Толщина нанесенного слоя	10-15см
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA 160	5%
Отскок	<8%

Прочность на сжатие:
в возрасте

4 ч.	3,7 МПа
12 ч.	11,3 МПа
1 день	27 МПа
7 суток	36,5 МПа
28 суток	42 МПа
91 суток	48,6 МПа

Тоннель Sedrun, участок 350, является ключевой частью Транальпийского железнодорожного проекта, тоннеля St.Gotthard и состоит из 4 открытых забоев однопутных тоннелей, идущих на Север и на Юг, а также служит развязкой со стрелочным переводом в Sedrun. Главный Тоннель Gotthard имеет длину около 57 км, и состоит из двух однопутных тоннелей, без сервисного тоннеля. Он расположен к югу от шахты Sedrun, на высоте 549 м над уровнем моря. Стрелочные переводы, предусмотренные для технического обслуживания, находятся в Sedrun и Faido. Межтоннельные сбойки между двумя тоннелями запланированы с интервалом 650 м, в них будет расположено оборудование для обслуживания, а также будут находиться аварийные выходы.

**NEAT, шахта Sedrun,
Швейцария**

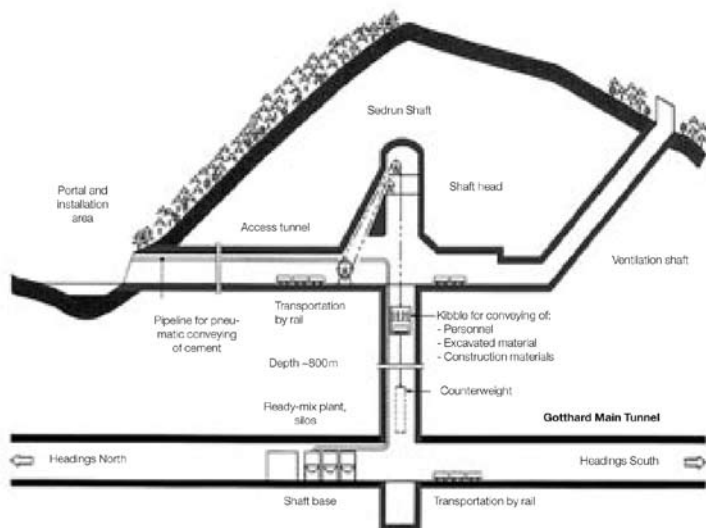


Рисунок 11: Sedrun шахта

Portal and installation-Портал и строительная площадка

Access tunnel-Подходной тоннель

Pipeline for pneumatic conveying of cement-Пневмопровод для доставки цемента

Transportation by rail- Рельсовая откатка

Shaft head-Камера шахты

Depth-Глубина-800м.

Ready-mix plant, silos- Смесительное оборудование и емкости для хранения материалов

Shaft base-Основание шахты

Headings North-Направление проходки на Север

Headings South-Направление проходки на Юг

Kibble for conveying of...-Бадья для подъема : -персонала, -разработанной породы, -строительных материалов

Counterweight-противовес

Gotthard main Tunnel-главный тоннель Gotthard

Ventilation Shaft- Вентиляционный ствол

Цемент марки CEM II A-S 32,5 R

450 кг/м³

Elkem MS микросилика

40 кг/м³

Песок (0-4мм)

1032 кг/м³

Крупный заполнитель(4-8мм)	688 кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T 803 (поликарбонат)	5,4 кг/м ³
МЕУСО ТСС 780	2 кг/м ³
Водоцементное отношение	0,43
Расстояние 58см)	>62см (через 4 ч>
Добавка, вводимая у сопла: МЕУСО* SA 160	6-8 %

Прочность на сжатие в возрасте:	
6 мин.	> 0,2 МПа
30 мин.	> 0,5 МПа
1 час	1 МПа
4 ч.	>3 МПа
24 ч.	>15 МПа
28 суток	>55 МПа

Sedrun шахта (глубиной 800 м и поперечным сечением 57м²) служит транспортной артерией, а также дополнительным выходом для главного тоннеля Gotthard. Временная крепь:5.000 м³ набрызг-бетона (толщина слоя 15см), который доставляется бо трубопроводу 6 « диаметром. Постоянная обделка:7.000 м³ монолитного бетона (толщина обделки 30см), который доставляется по трубопроводу 6 « диаметром.

Тоннель Sieberg, Австрия

Цемент марки GmunderPZ375(H)	425 кг/м ³
Заполнитель (0-8мм)	1680 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild T3	1,2%
водоцементное отношение	0,45
Расстояние	60 см
Добавка, вводимая у сопла: МЕУСО*SA 160	8-10%
Толщина нанесенного слоя	30-40см
Отскок	10-12%

Прочность на сжатие: в возрасте	
6 мин.	0,25 МПа
18 мин.	0,45 МПа
1 час	1,5 МПа
4 ч.	6-7 МПа

1 день
28 суток

12 МПа
48 МПа

Этот тоннель является одним из первых в Австрии крупных проектов, где применен мокрый способ набрызга. Объем набрызгбетона - 25.000м³.

Железнодорожный Тоннель Sieberg длиной 6,5 км пролегает большей частью в малопрочных мелах, на небольшой глубине заложения всего несколько метров. Две дополнительные выработки позволяют открыть 6 забоев одновременно. Крепление горных выработок производится набрызгбетоном слоем 30-40см в качестве первичной крепи и неармированным бетоном в качестве постоянной обделки.

Изначально тоннель начали строить, используя сухой способ набрызга, при этом применялась готовая смесь высушенных в печи заполнителей с быстротвердеющим цементом, которая наносилась сжатым воздухом.

Система была несложной, но концентрация пыли и величина отскока привели к значительным производственным затратам.

Тоннель Irlahull, Германия.

Цемент марки СЕМ I 52.5	380 кг/м ³
Зола-унос	50 кг/м ³
Песок (0-2мм)	763 кг/м ³
Дробленый заполнитель (2-8мм)	950 кг/м ³
Woerment FM 785(поликарбонат)	0,6%
Woerment Lentan VZ31 (замедлитель)	0,3% (работоспособность 3 ч)
водоцементное отношение	0,5
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 160	8-10%

Тоннель Irlahull является составной частью Скоростной Железной дороги Нюрнберг - Ингольштадт. Длина тоннеля: 7.260 м. Геология: известняк, песчаник. с уровнем подземных вод. превышающим уровень тоннеля. Разработка: буровзрывным способом с поэтапным раскрытием забоя. Поперечное сечение 150 м²; длина заходки 0,8-2,0м. Крепление горных выработок: 20-40 см армированного сварными сетками набрызгбетона с применением MEYCO, а также систематической установкой анкерной крепи у забоя.

Galleria di Orte,**Италия**

Цемент марки СЕМ 42.5	500 кг/м³
MEYCO MS 610 жидкое стекло	15 кг/м³
Заполнитель (0-8мм)	1650 кг/м³
Гиперпластификатор Glenium T801	
(поликарбонат)	0,8 %
водоцементное отношение	0,45
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO SA 160	6,5 %
Толщина нанесенного слоя	25-40см
Отскок	<8%
Прочность на сжатие	
в возрасте	
24 ч.	>14 МПа
2 суток	>23 МПа
3 суток	>27МПа
7 суток	>36МПа
28 суток	45МПа

Условия работы: 10.000 м³ набрызгбетона, нанесенного за 9 недель;

Толщина слоя 200-300мм. Результаты: стальные арки были установлены и омоноличены набрызгбетоном толщиной 50 мм: окончание схватывания достигалось через 4 минуты.

Тоннель La Palma de Santa Cruz, Palmas de Gran Canarias,**Испания**

Цемент марки СЕМ II 42.5 А-Р	450 кг/м³
Песок (0-6мм)	1430 кг/м³
Заполнитель (6-12мм)	260 кг/м³
Rheobuild 1000EPS	7,6кг/м³
Водоцементное отношение	0,40
Осадка конуса	14-16см
Толщина нанесенного слоя	20-30см
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO* SA 160	7-9%
Отскок	10%

Прочность на сжатие:

в возрасте

24 ч.	6 МПа
3 суток (выбуренные керны)	22 МПа
28с уток (выбуренные керны)	>30 МПа

Тоннель North Downs, Channel Tunnel Rail Link, Великобритания

CEM I 52.5	360 кг/м³
PFA (зола-унос)	90 кг/м³
Песок	1038 кг/м³
Дробленые заполнители	692 кг/м³
Гиперпластификатор Glenium T 801 (поликарбонат)	3 кг/м³
Стабилизатор Delvo*crete ность - 6ч)	4 кг/м³ (работоспособ-
водоцементное отношение	<0.40
Осадка конуса	200мм
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA 160	5% в среднем
(передовая выработка по своду 5-7 %, штрасса/обратный свод 3,5-4,5%)	
Коэффициент фильтрации	1 x 10-12 м/с

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин	>0,18 МПа
30 мин	>0,3 МПа
1 час	>0,5 МПа
24 ч	19,5 МПа
3 суток	26 МПа
28 суток	>36МПа
56 суток	>42МПа

Тоннель North Downs - двухпутный тоннель с общей шахтой, поперечное сечение тоннеля -140 м², длина приблизительно 3,5 км. Характеристика тоннеля: запроектирован на 120лет, набрызгбетон - первичная крепь, монолитный бетон – постоянная обделка; заказчики и строители осваивают принципы применения набрызгбетона, как постоянной обделки.

Тоннель мыса Нордкап, Норвегия

Цемент марки CEM I 52,5 R	520 кг/м³
Микросилика	25 кг/м³
Заполнитель (0-8мм)	1700 кг/м³
Фибра (25мм)	50 кг/м³
Пластификатор (лигносульфонат)	2,5 кг/м³
Суперпластификатор (меламин)	4-5 кг/м³

Стабилизатор Delvo*crete	2 кг/ м³
MEYCO TCC 735	5 кг/м³
водоцементное отношение	0,45
Осадка конуса	20-21 см
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA 160	8%
Толщина нанесенного слоя	25-50см
Отскок	<5%

Прочность на сжатие:

В возрасте

1 час	> 2 МПа
4 ч	> 7 МПа
24 ч	> 30 МПа
28 суток	> 40 МПа

Половина тоннеля проходит через выветренные сланцы, что приводит к взвалам породы и переборам. Портальная часть обделки выполнялась из монолитного бетона по всей поверхности (длина заходки - 2м). Средняя толщина бетона >1м. Секрет к успеху заключался в том, что представлялось возможным беспрерывное распыление любой толщины с большим объемом.

Вышеуказанной смесью 36-42 м³ за цикл наносились слои в среднем толщиной 250 мм за 2-2.5 часа. Это увеличило производительность работ в 2-3 раза и ускорило на 30-45 метров проходку тоннеля за неделю. При этом требуемая прочность 30 МПа в возрасте 28 суток была безусловно превышена.

Станция Национального Театра в Осло, Норвегия

Испытание. Подрядчик: Selmer ASA. Оборудование: MEYCO Roadrunner

Цемент 52,5	500 кг/м³
Микросилика	25 кг/м³
Заполнитель(0-9мм.)	1530 кг/м³
Суперпластификатор Rheobuild 716	8,25 кг/м³
Стабилизатор Delvo*crete	2 кг/м³
водоцементное отношение	0,42
Осадка конуса	20 см
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA 160	8%

Прочность на сжатие:	
в возрасте	
30 мин.	>1,0 МПа
1 час	>2.2 МПа
2 ч	>4,5 МПа
4 ч	>9 МПа
28 суток	>50 МПа

Тоннель Sveti Marco, Словения

Цемент марки PC-30-45S	450 кг/м ³
Речной песок (0-1мм)	260 кг/м ³
Дробленый песок (0-4мм)	780 кг/м ³
Гравий (4-8мм)	690 кг/м ³
Glenium T 801(поликарбонат)	0,42%
Стабилизатор Delvo*crete	0,18%
водоцементное отношение	0,48
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO SA 160	8%

Прочность на сжатие:	
в возрасте	
24 ч	20 МПа
28 суток	45 МПа
Полностью выветрившиеся породы. Защитный экран из труб на всей длине тоннеля.	

Тоннель Bolu, Проект автостреды Стамбул - Анкара, Турция

Цемент марки СЕМ 42,5	500 кг/м ³
Микросилика	25 кг/м ³
Заполнитель (0-5мм)	1186 кг/м ³
Заполнитель (5-12мм.)	474 кг/м ³
Стальные фибры	50 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 716	10 кг/м ³
водоцементное отношение	0,42
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO* SA 160	35 кг/м ³

Прочность на сжатие:	
в возрасте	
4 ч (Hilti)	5,2 МПа
8 ч (Hilti)	12,2 МПа
12 ч (Hilti)	13,9 МПа
24 ч (выбуренный керн)	15,5 МПа

3 суток (выбуренный керн)	31,8 МПа
7 суток (выбуренный керн)	42,5 МПа
28 суток (выбуренный керн)	55,8 МПа

Сложные инженерно-геологические условия - глинистые осадочные и глыбистые грунты; чрезмерно большие пластические деформации грунта; чрезмерные величины вывалов, в т.ч. по тектоническим причинам - требуются высокая начальная и конечная прочности.

Проект Южного Глубокого Шахтного Ствола, Йоханнесбург, Южная Африка

Цемент марки CEM I 52,5	475 кг/м ³
Зола-унос (super Poz)	75 кг/м ³
Микросилика	38 кг/м ³
Песок Stella (речной песок 0-2мм)	60кг/м ³
Дробленый песок	1080 кг/м ³
Камень (6,7мм.)	262 кг/м ³
Фибры Fibrin	0,9 кг/м ³
Устойчивые против коррозии стальные фибры Dramix	40 кг/м ³
Delvo*crete	4,0кг/м ³
MEYCO TCC 735	5,0кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T801 (поликарбонат)	4,6 кг/м ³
водоцементное отношение	0,36
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	6-7%

Прочность на сжатие:
в возрасте

24 ч.	15 МПа
2 суток	30 МПа
3 суток	56 МПа
7 суток	76 МПа
28 суток	86 МПа
56 суток	95 МПа

Проходка шахтного ствола (окончательная глубина ствола 3.000м, диаметр 9 м) через ранее разработанную и обратно заполненную вертикальную выработку глубиной 2.335 м; назначение ствола - получить доступ к рудным телам на глубинах >2500м.

Особые требования:

Хорошая подвижность смеси для нагнетания из бадьи; быстрое схватывание для нанесения до 100 мм за один проход в условиях

«капежа»; высокая надежность в связи со сложностью последующего ремонта; способность не растрескиваться при больших деформациях породы; высокая начальная прочность для предотвращения образования трещин.

Гидроэлектростанция Sondu Miriu, Кения

Цемент Bamburi OPC Тип 1	422 кг/м ³
Речной песок	966 кг/м ³
Дробленый заполнитель (5-10мм)	655 кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T 803 (поликарбонат)	0,45%
водоцементное отношение	<0,45
Осадка конуса	100 мм
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 160	7%

Прочность на сжатие:

в возрасте

24 ч 11 МПа

3 суток 22 МПа

28 суток 32 МПа

Труднодоступный район строительства. Набрызгбетон используется как временная крепь перед устройством постоянной бетонной отделки.

Станция Quarry Bay, MTRC Контракт 680, Гонконг

Цемент OPC 42.5	400 кг/м ³
Микросиликат	40 кг/м ³
Зола-унос	60 кг/м ³
Заполнитель(0-10мм)	1640 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 561	10 кг/м ³
водоцементное отношение	0,40
Осадка конуса	20 см
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA 160	6%
Толщина нанесенного слоя	20 см

Прочность на сжатие:

в возрасте

8ч. 13,5 МПа

1 день 23 МПа

7 суток 35 МПа

28 суток 52 МПа

Генеральный подрядчик: Nishimatsu Construction Company Ltd. Оборудование: шприцбетономашин Aliva Dulpo 285, агрегат дозирования MEYCO* Mix 200 и система сопла MEYCO.

Тоннели Blackhill, MTRC Контракт 603, Гонконг

Цемент OPC	350 кг/м ³
Зола-унос PFA	110 кг/м ³
Дробленый мелкий заполнитель	1065 кг/м ³
Крупный заполнитель (10мм)	540 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 561	5,5-6 кг/м ³
водоцементное отношение	<0,45
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 160	6-7%

Прочность на сжатие:

в возрасте

7 суток

25 МПа

28 суток

38-40 МПа

Контракт включал в себя около 8 км тоннеля. Тоннель проходил буровзрывным способом.

Тоннели Tai Lam, KCRC West Rail Контракт No DB 350, Гонконг

Цемент OPC	345 кг/м ³
Зола-унос PFA	115 кг/м ³
Речной песок	615 кг/м ³
Дробленый мелкий заполнитель	410 кг/м ³
Крупный заполнитель (10мм)	565 кг/м ³
Стальные фибры Dramix ZP 305	45 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 561	5,5 кг/м ³
Стабилизатор Delvo*crete	2,0-4,0 кг/м ³
водоцементное отношение	0,45
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 160	26 кг/м ³

Прочность на сжатие:

в возрасте

24 ч

12 МПа

28 суток

28 МПа

Генеральный подрядчик: Nishimatsu Construction Company Ltd. Двухпутный Железнодорожный Тоннель, применены самоходные установки для набрызга MEYCO. Выполнено около 8.000м³ на-

брызгбетонной отделки
армированной стальными фибрами Dramix ZP305.

**Подземная камера,
Сингапур**

Цемент	470 кг/м ³
MB-SF микросилика	20 кг/м ³
Песок	720 кг/м ³
Стружка	610 кг/м ³
Заполнитель из дробленого камня	220 кг м ³
Стальные фибры	56 кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T 803 (поликарбонат)	3,4 кг/м ³
Стабилизатор Delvo*crete -3ч)	1,7кг/м ³ (работоспособность
водоцементное отношение	<0,42
Осадка конуса	180+/- 20мм
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	5-7%
Отскок стальной фибры	7%

Прочность на сжатие:
в возрасте

7 суток (с образцов)	29-32 МПа
28 суток (с образцов)	37-41 МПа
28 суток (с производства)	43-44 МПа

**Магистраль Dali Baoshan,
Китай**

Цемент марки 42,5R	420 кг/м ³
Заполнитель (0-10мм)	1700 кг/м ³
Стальные фибры Dramix	50 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 561	1%
водоцементное отношение	0,45
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	5%

Прочность на сжатие:
в возрасте

24 ч	>25 МПа
28 суток	>40 МПа

Основное преимущество применения MEYCO* SA160 связано с геологическими условиями этого проекта - набухающие глины. Достаточную толщину слоя можно получить за один прием, обеспечивая при этом требуемую начальную прочность.

Тоннели Burnley и Domain, Мельбурн City Link, Австралия

ОРС	430кг /м ³
Микросилика	20 кг/м ³
Заполнитель (0-8мм)	1680 кг/м ³
Стальные фибры ВНР (25мм)	50 кг/м ³
Пластификатор Pozzolith 370	4,8 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 716	4,8кг/м ³
водоцементное отношение	0,40
Осадка конуса	14 см
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	8%
Отскок	<10%

Прочность на сжатие(в натуральных условиях):

в возрасте	
1 день	18 МПа
7 суток	34 МПа
28 суток	48 МПа

Тоннель Burnley длиной 3,4 км. Нижняя точка тоннеля находится на глубине на 65 м ниже уровня моря. Длина Тоннеля Domain составляет 1,6 км, глубина заложения тоннеля – на 25 м ниже уровня моря. Каждый из этих тоннелей шириной 11,5 м и высотой 4,9 м. Тоннели крепились арками и анкерами с набрызгбетоном, который наносился с использованием четырех самоходных установок MEYCO*Spraymobiles.

Тоннель Cameron Run, Вирджиния (США)

Цемент	420 кг/м ³
Песок	1290 кг/м ³
Крупные заполнители	480 кг/м ³
Стальные фибры Хогех 38 мм	35 кг/м ³
Polyheed 997	0,8%
водоцементное отношение	0,42
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	8%

Прочность на сжатие:
в возрасте
24 ч

13.7MPa

Железнодорожный тоннель требовал восстановления и ремонта из-за фильтрации воды под рельсовыми путями. Проект включал в себя усиление существующей обделки стальными арками и нанесение новой набрызгбетонной крепи, армированной стальными фибрами. Высокая начальная прочность требовалась при этих работах.

**Тоннель Dulles Airport Pedestrian Walkback ,
Вирджиния, США**

Цемент	470 кг/м ³
Песок	1170 кг/м ³
Крупный заполнитель	525 кг/м ³
Стальные фибры Хогех 38мм	40 кг/м ³
Polyheed 997	0,8%
Стабилизатор Delvo*crete	1%
водоцементное отношение	0,39
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO*SA160	6%

Прочность на сжатие:
в возрасте
10ч.
24ч.

14MPa

19.3MPa

Тоннель диаметром 5м и длиной 300м был построен с использованием новоавстрийского метода (НАТМ). Тоннель строился под действующей дорогой и поэтому высокая начальная прочность набрызгбетона была необходима для безопасного ведения тоннельных работ.

**Numi Tunnel,
Иллинойс, США**

Цемент	440 кг/м ³
Песок	1150 кг/м ³
Крупный заполнитель	565 кг/м ³
Стальные фибры Хогех 38мм	60 кг/м ³
Rheomac SF 100	30 кг/м ³
Polyheed 997	1%
Стабилизатор Delvo*crete	0,5-2%
водоцементное отношение	0,45
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO SA160	6%

Прочность на сжатие:
в возрасте
8 ч

10,3 МПа

Лаборатория Fermi строит тоннель для проведения научных исследований по расщепления атомов (ускоритель элементарных частиц). Тоннель сооружается с помощью тоннелепроходческого комплекса диаметром 7м. Общая длина тоннеля составляет 1,8 км. Для временного крепления тоннеля использовался набрызгбетон армированный стальными фибрами, для постоянной обделки – неармированный набрызгбетон.

Метро в Белу-Оризонте, Бразилия

Цемент OPC	400 кг/м ³
Заполнитель(0-12мм)	1686 кг/м ³
Mastermix 390	1 кг/м ³
Пластификатор Rheobuild 716	3 кг/м ³
Водоцементное отношение	0,45
Осадка конуса	10 см
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO* SA 160	8%
Толщина нанесенного слоя	20 см
Отскок	<10%

Прочность на сжатие:
в возрасте
3 суток
7 суток
28 суток

24 МПа
32 МПа

Рисунок 12 :В тоннеле Heliopolis, который является частью Метро Белу-Оризонте, набрызгбетон наносился с помощью MEYCO на колесном ходу.

Тоннель Buenavista, Villavicencio, Колумбия

OPC, CEM I 42,5	460 кг/м ³
Микросилика	19 кг/м ³
Заполнитель (0-16мм.)	170 кг/м ³
Пластификатор Rheobuild 716	7,2 кг/м ³
водоцементное отношение	0,39
Осадка конуса	18-20 см

Добавка, вводимая у сопла:
MEYCO* SA160 6%

Прочность на сжатие:
в возрасте
10 мин 0,7 МПа
24 ч 14 МПа
28 суток 39 МПа

Автомобильный тоннель длиной 4,9км. Объем
набрызгбетона:10.000м³.
Генеральный подрядчик - Recchi G.L.F.

Гидроэлектростанция Miel 1, Колумбия

Цемент DEUNA CEM II 52,5 A/B	370 кг/м³
Зола-унос	20 кг/м³
Известковая пыль	50 кг/м³
Заполнитель(0-8 мм)	1285 кг/м³
Заполнитель(5-12мм)	474 кг/м³
Суперпластификатор Marpei 404	1,0%
Добавка-замедлитель Marpei	0,3%
водоцементное отношение	0,50
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA160	8%

Прочность на сжатие:
в возрасте
30 мин >0,5 МПа
1 час >0,6 МПа
6 ч >1,9 МПа
14 ч >5,6 МПа
28 суток (выбуренные керны) >26 МПа

Тоннели Lo Prado 2 и Zapata 2, Чили

Цемент марки Melon AR	400 кг/м³
Заполнитель (0-8мм)	1760 кг/м³
Стальные фибры Dramix RC-65/35-BN	40 кг/м³
Pozzolith 322 N	0,5%
Rheobuild 1000EPS	1,5%
Стабилизатор Delvo*crete	0,4%
водоцементное отношение	0,46
Осадка конуса	>15см
Добавка, вводимая у сопла:	

MEYCO* SA160	7%
Отскок	< 5%

Прочность на сжатие:

в возрасте

4 ч	>1 МПа
24 ч	>20 МПа
28 суток	>40 МПа

Для того, чтобы увеличить грузоперевозки на дороге Сан-Диего в Чили в городах Valparaíso и Vina del Mar, построены два новых параллельно расположенных тоннеля (площадь поперечного сечения каждого -72м², длина Lo Prado 2 - 2.700м, длина Zapata2 - 700м). Обделка - однослойный набрызгбетон.

С) MEYCO SA161

Тоннель Lerdal, Норвегия

Цемент марки CEM 42,5	439 кг/м ³
Микросилика	30 кг/м ³
Заполнитель (0-8мм)	1670 кг/м ³
Стальные фибры 30/50 Dramix	44 кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T803	2,7 кг/м ³
MEYCO* TCC735	5 кг/м ³
водоцементное отношение	0,42
Осадка конуса	20-22 см
Добавка, вводимая у сопла:	
MEYCO* SA161	7,5%
Толщина нанесенного слоя	10-15см
Отскок	<5%

Прочность на сжатие:

в возрасте

30 мин	0,8-0,9МПа
28 суток	42 МПа

Тоннель Lerdal длиной 24 км на сегодняшний день является самым длинным автодорожным тоннелем в мире. Тоннель глубокого заложения и из-за высоких напряжений в массиве горных пород произошло несколько обрушений. Для устранения таких обрушений в последующем был применен специальный набрызгбетон с быстрыми сроками твердения. Интенсивность набрызгбетонирования также значительно улучшилась.

**Тоннель Froya ,
Норвегия**

Цемент марки СЕМ 42.5	480 кг/м ³
Микросилика	33 кг/м ³
Заполнитель (0-10мм)	1530 кг/м ³
Стальные фибры Dramix 30/50	44 кг/м ³
Гиперпластификатор Glenium T 801	1,8 кг/м ³
МЕУСО ТСС 735	5 кг/м ³
водоцементное отношение	0,38
Осадка конуса	16-17см
Добавка, вводимая у сопла: МЕУСО* SA 161	7,5 %
Толщина нанесенного слоя	15-25см
Отскок	5-6%

Прочность на сжатие:

в возрасте

15-20 мин

1 МПа

28 суток

47 МПа

Подводный автодорожный тоннель, пройденный через чрезвычай-но сложные зоны геологических нарушений с большим водопри-током. Длина тоннеля 7км.

**Атомная Электростанция Намаока,
Япония**

Цемент	380 кг/м ³
Песок (0-4мм)	1124 кг/м ³
Крупный заполнитель (4-10мм)	726 кг/м ³
NT 1000 (поликарбонат)	1,25%
Водоцементное отношение	<0,50
Осадка конуса	17см
Содержание воздуха	4,5%
Добавка, вводимая у сопла: МЕУСО* SA 161	5% (в среднем)

Прочность на сжатие:

в возрасте

3 ч

>1 МПа

24 ч

>6,5 МПа

7 суток

>24 МПа

28 суток

>34 МПа

Сооружение дополнительного ядерного реактора требовало ка-бельного тоннеля (поперечное сечение 14,6 м², длина 400м). При

строительстве этого тоннеля применялся набрызгбетон толщиной 150мм в качестве временного крепи.

Станция Метро Shirogane Dai в Токио, Япония

Цемент	450 кг/м ³
Песок (0-4мм)	1113 кг/м ³
Крупный заполнитель (4-8мм)	500 кг/м ³
Bridgestone стальные фибры 30/60	40 кг/м ³
NT 1000 (поликарбонат)	1,7%
Стабилизатор Delvo*crete	1%
водоцементное отношение	0,40
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO*SA 161	8%

Прочность на сжатие:

в возрасте

3 ч

>3,6 МПа

24 ч

>13,9 МПа

7 суток

>32 МПа

28 суток

>42 МПа

Набрызгбетон применялся для повышения коррозионной стойкости и огнестойкости стальной облицовки. Толщина слоя варьировала от 80 до 400 мм. Полная толщина набрызгивалась на стальную поверхность за один прием.

D) MEYCO SA162

Тоннель S.Giacomo в Bolzano, Италия

Цемент марки II AL 42,5	480 кг/м ³
Заполнитель (0-8мм)	1560 кг/м ³
Суперпластификатор Rheobuild 5000	1.5 %
водоцементное отношение	<0.47
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 162	8%
Общая толщина слоя	40-80см
Толщина одного слоя	15-20см
Отскок	<5%
Сроки начального схватывания	45-60мин

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин

>0,4 МПа

10 мин

>0,55 МПа

20 мин	> 0,7 МПа
30 мин	>0,85 МПа
1 час	>1,2 МПа
5 ч	>4,5 МПа
24 ч	>12 МПа
28 суток	>32 МПа

Автомобильный тоннель длиной 2,3 км. Технические спецификации в соответствии с Австрийскими Нормами (SpB25-56/II/J2). Очень низкие температуры зимой. Тоннель проходил в крепких скальных породах вулканического происхождения. Разработка тоннеля велась буровзрывным способом. Переборы породы достигали 80 см и более. Производительность набрызгбетонных работ составляла 24 м³ в час.

Е) MEYCO SA170 **Тоннель Kienberg, Австрия**

Цемент марки CEM II /A-S 42,5R	420 кг/м³
Заполнители: 0,1-0,4 мм, дробленые	105 кг/м³
0-4 мм круглые	650 кг/м³
0-4 мм дробленые	470 кг/м³
4-8 мм. дробленые	525 кг/м³
Glenium 51 (поликарбонат)	0,5%
Стабилизатор Delvo*crete	0,5% (удобоукладываемость 4-5 ч)
водоцементное отношение	0,48
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA 170	7%

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин.	>0,25 МПа
1 час	>0,8 МПа
24 ч	>14 МПа
7 суток	>28 МПа
28 суток	>38 МПа

Двухпутный автомобильный тоннель Kienberg длиной 1,5 км является частью автострады Pfulg в Северной Австрии. Тоннель проходит через раздробленные и весьма трещиноватые скальные породы. Типичная крепь при заходке 1,3 м - опережающие горизонтальные анкера, сварными армофермы и армированный сварными сетками набрызгбетон. Толщина набрызгбетона составляла 20 см. Местами набрызгбетон применялся совместно с железобетонными анкерами длиной 4-6 м. Скорость проходки тоннеля была достаточно высокой (до 6 циклов в день), что требовало увеличения толщины

слоя, наносимого за один прием. Опережающая анкерная крепь и другая крепь устанавливались сразу вслед за нанесением набрызгбетона. Начальная прочность набрызга должна была удовлетворять требованиям Австрийских Норм J2.

Тоннель Strengen, Австрия

Цемент марки CEM II A-S 42,5R	420 кг/м³
Заполнители: дробленые, 0-4мм	1380 кг/м³
дробленые, 4-8мм	450 кг/м³
Glenium 51 (поликарбонат)	0,5%
водоцементное отношение	0,45
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA170	5,5%

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин	>0,3 МПа
1 час	>0.9 МПа
24 ч	>15 МПа
7 суток	>36 МПа
28 суток	>48 МПа

Два параллельно расположенных двухпутных тоннеля Strengen длиной 5,8 км являются конечной частью соединения Восточно-Западной автомагистрали в Австрии. У каждого тоннеля поперечное сечение площадью 80 м², тоннели разрабатывались буровзрывным способом, по частям с опережающей выработкой в своде. Горные породы - метаморфические слоистые скальные. Крепление при заходках 1,5 м производилось с сварными армофермами длиной 4-6 м и набрызгбетоном толщиной 20 см, армированным двойными сетками. Начальная прочность набрызгбетона должна была удовлетворять требованиям Австрийских Норм J2. Применение ускорителей было не очень широким.

Тоннель Bisadona, Австрия

Цемент PZ 375	420 кг/м³
Заполнители (0-2, 0-4, 4-11 мм)	1750 кг/м³
Glenium T801 (поликарбонат)	0.6-0.7%
Стабилизатор Delvo*crete 10	0.4% (удобоукладываемость-7ч)
водоцементное отношение	<0.5
Добавка, вводимая у сопла: MEYCO* SA170	7,5% (в среднем)

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин (Hilti)

>0,32 МПа

10 мин (Hilti)

>0,42 МПа

page 77

30 мин (Hilti)

>0,59 МПа

1 час (Hilti)

>0,78 МПа

3 ч (Hilti)

>2,6 МПа

6 ч (Hilti)

>5 МПа

12 ч (Hilti)

>8 МПа

24ч.(Hilti)

>20МПа

7 суток (выбуренные керны)

25МПа

28 суток (выбуренные керны)

31МПа

Двухпутный железнодорожный тоннель длиной 2,4 км является западной частью тоннеля Arlberg. Здесь требовалась смесь весьма быстро схватывающегося бетона из-за больших водоприток в тоннель по всей его длине.

Тоннель Girsberg,

Швейцария

Цемент марки СЕМ I 42.5

425 кг/м³

Песок (0-4мм)

1060 кг/м³

Натуральные круглые заполнители (4-8мм)

640 кг/м³

Rheobuild T3

1%

водоцементное отношение

0.47

Добавка, вводимая у сопла:

MEYCO* SA170

6%

Прочность на сжатие:

в возрасте

6 мин

>0,3 МПа

30 мин

>0,8 МПа

1 час

>1 МПа

24 ч

>15 МПа

28 суток

>55МПа

Тоннель Girsberg является частью автомагистрали Kreuzlingen-Constance. Горно-геологические условия проходки тоннеля весьма сложные. Породы представлены сильно выветрелыми глинистыми сланцами; большие водоприток.

4. Новые передовые системы набрызгбетонных добавок

4.1 Краткий обзор

Учитывая крайнюю плотность застройки крупных городов мира и ограниченность свободного пространства, важнейшей задачей становится изыскание новых методов строительства коммунальных и транспортных сетей под землей. Это, в свою очередь, требует увеличения объемов использования набрызгбетона по всему миру.

Традиционный набрызгбетон - это компромисс между ценностями начальной и конечной прочностей, гибкостью технических характеристик и общей экономичностью. Разработка добавок нового поколения привела к существенному развитию и к расширению области применения набрызгбетона.

Далее будут представлены две новые технологии, разработанные BASF:

- Система контролирования гидратации Delvo*crete, которая позволила достигнуть большей гибкости и получать более высокое качество набрызгбетона, а также способствовала развитию мокрого способа набрызгбетонирования. Это, в свою очередь, способствовало улучшению рабочих условий и снижению затрат вследствие уменьшения пылеобразования и снижения величины отскока.
- Новая система, обеспечивающая быстрое, эффективное и надежное твердение набрызгбетона.

4.2 Delvo*crete

Поставка набрызгбетонных смесей для проектов в городских условиях создает проблемы как для подрядчиков, так и для поставщиков бетона.

Набрызгбетонные смеси, затворенные или сухие, обладают незначительными сроками хранения (1,5-2 часа), или даже меньшими при температуре, превышающей +20°C. У материала, распыленного позже, будет более низкая прочность и повышенный отскок из-за преждевременного начала процесса гидратации цемента.

Дальние расстояния перевозки на автомобилях с заводов на строительные площадки, задержки в производственных циклах, а также неисправности на заводах и поломки оборудования - все это служит причиной того, что значительная часть бетона применяется уже после истечения «срока годности».

Более того, постановления о защите окружающей среды могут наложить ограничения на рабочие часы бетонных заводов на территории городов. Это означает, что подрядчик, нуждающийся в поставке набрызгбетонных смесей 24 часа в сутки, может получать материал только в течение 12 ч в день.

Проблемы, подобные этим, влекут за собой излишние строительные затраты в равной степени для подрядчика и заказчика.

BASF разработала химическую систему контролирования гидратации цемента для затворенных водой и сухих бетонных смесей, благодаря чему представляется возможным существенное продление срока годности таких смесей.

4.2.1 Введение

В 1987г. BASF разработала двухкомпонентную, жидкую, нехлористую систему контролирования гидратации цемента для обработанного бетона и повторного его использования. Это дало возможность многим производителям бетона устранить проблемы, связанные с отходами бетона на их бетономесительных заводах. Первый компонент этого устройства знают под названием «Стабилизатор Delvo*», который способен задерживать гидратацию портландцементов на период времени вплоть до 72 часов. Вторым компонентом системы является «Активатор Delvo*», ускоритель гидратации, который добавляется к стабилизированному бетону перед его укладыванием.

В 1989г. BASF приспособила систему контролирования гидратации для использования в набрызгбетоне. Компонент «Стабилизатор Delvo*crete» похож на компонент, используемый для возвращения бетона, а ряд «Активаторов Delvo*crete» был разработан для инициирования гидратации цемента. «Активаторы Delvo*crete» вводятся в смесь набрызгбетона у распыляющего сопла, точно также, как обычные ускорители на базе алюминатов или силикатов для быстрого схватывания и высокой начальной прочности, что требуется для крепления горных выработок.

Система «Delvo*crete», которая впервые была использована в промышленности в Европе в 1990 г, дает возможность продлить срок годности при хранении набрызгбетонных смесей до 72 часов. Это устраняет множество проблем и трудностей, возникающих при производстве и применении смесей стойкого, высококачественного набрызгбетона, с которыми сталкиваются подрядчики, производители бетона и инженеры.

Система контролирования гидратации Delvo*crete способна придать гибкость производству и выполнению набрызгбетонных работ в крупных подземных проектах, и в то же время предлагает значительное снижение затрат подрядчикам, заказчикам и производителям бетона.

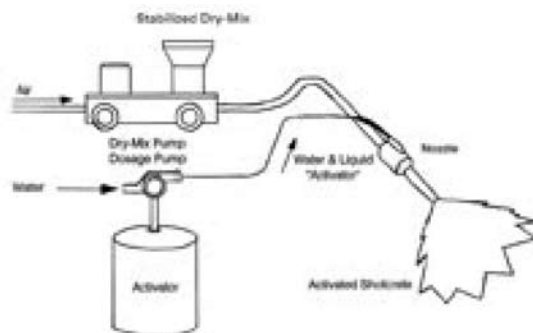


Рисунок 13: Набрызгбетон по сухой технологии с контролируемой гидратацией.

stabilized dry-mix-стабилизированная сухая смесь

dry mix pump-насос сухой смеси

dosage pump-насос дозирования

activator-активатор

water&liquid activator-вода и жидкий активатор

nozzle-сопло

activated shotcrete- активированный торкретбетон

Система также гарантирует, что весь набрызгбетон, распыленный через сопло содержит «свежий» цемент, в котором процесс гидратации не происходил.

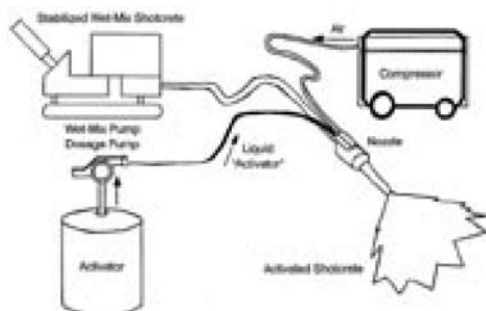


Рисунок 14: Набрызгбетон по мокрой технологии с контролируемой гидратацией

stabilized wet-mix shotcrete-
стабилизированный мокрый торкретбетон
wet-mix pump-насос влажной смеси
dosage pump-насос дозирования
activator-активатор
liquid «activator»-жидкий «Активатор»
compressor-компрессор
nozzle-сопло
activated shotcrete-активированный торкретбетон

Система дает набрызгбетону революционные преимущества (в особенности набрызгбетону при мокром способе) и в настоящее время употребляется при реализации многих крупных проектов в Европе, Америке, на Ближнем Востоке и на Дальнем Востоке.

4.2.2 Мокрый способ набрызгбетонирования

Мокрый способ обладает определенными преимуществами перед сухим способом, главными из которых является контроль за водоцементным отношением, который в этом случае не зависит от квалификации сопловщика.

Срок годности у затворенных водой смесей тоже приблизительно 1,5-2 часа. Это значит, что бетонная смесь должна быть использована достаточно быстро после ее приготовления. Это не всегда представляется возможным в крупных подземных строительных проектах. Длительное время перевозок на автомобилях с бетонных заводов к местам производства набрызгбетонных работ, задержки и поломки оборудования в зоне ведения проходческих операций приводят к тому, что значительная часть набрызгбетона используется после истечения срока его годности.

Используя мокрый метод набрызга в работах по креплению горных пород, опытный сопловщик при применении хорошо спроектированного, свежего бетона с ускорителем схватывания может иметь величину отскока между 10% и 15%. Подобных результатов можно достичь и при использовании машин механизированного набрызга.

Следовательно, обычный мокрый набрызгбетон представляет собой компромисс между высокой осадкой конуса, низким водоцементным отношением, долгим сроком хранения, быстрым схватыванием и высокой начальной прочностью. Это всегда создавало проблемы для строителей, поставщиков бетона и клиентов. Это приводит к образованию большого количества отходов из-за отскока, промывания насосов и шлангов, разгрузки большого коли-

чества набрызгбетона, который потерял необходимую удобоукладываемость (т.е. стал слишком старым). Отходы требуют их вывоза с объекта и разгрузки. Все это приводит к излишним затратам для подрядчика, который предусматривает в бюджете расходы на определенный процент отскока и перераспыление, но не рассчитывает на транспортировку и разгрузку отходов, потерь от выгрузки набрызгбетона, при промывании шлангов и насосов, или когда поломки оборудования и задержки приводят к приостановкам проходческих работ.

4.2.3 Изготовление и доставка набрызгбетонной смеси при мокром способе

Изготовление смеси для набрызгбетона само по себе не должно создавать проблем для хорошего опытного поставщика бетона. Однако местоположение бетонного завода относительно строительной площадки является существенным.

Во многих городах сооружение бетонных заводов запрещено. Так как большинство проектов подземных инфраструктур, подобно тоннелям и станциям метро, находятся в крупных городах, бетонные смеси часто должны перевозиться на большие расстояния с отдаленных заводов, прежде чем их доставят на строительную площадку. В результате «срок годности» большей части набрызгбетонной смеси истекает до прибытия и разгрузки на строительной площадке. Если еще добавить к этому время, потраченное на распыление всей партии набрызгбетона в машине, как и на задержки, которые могут произойти на стройплощадке, то легко увидеть, что огромное количество смеси для набрызгбетона, используемого в городских строительных объектах, - сомнительного качества.

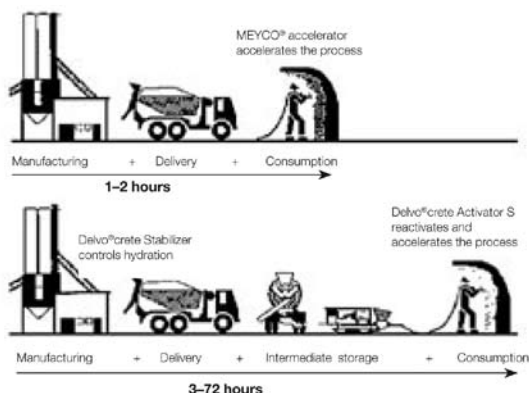


Рисунок 15: Delvo*crete для общей гибкости в набрызгбетоне.

Даже если подрядчик добьется разрешения и площади для сооружения бетонного завода поблизости от стройплощадки, местные нормы касающиеся окружающей среды могут также ограничить рабочие часы этого завода только до дневных. В этом случае проект работающий 24 часа в сутки, 7 дней в неделю не сможет получать набрызгбетон круглосуточно.

Для того, чтобы решить некоторые из этих проблем логистики, связанных с доставкой набрызгбетона на подземные объекты, и чтобы гарантировать, что доставленная свежая бетонная смесь будет нанесена, некоторые производители оборудования разработали транспортабельные бетономешалки.

Выражаясь простым языком, транспортабельная бетономешалка представляет собой миниатюрный бетонный завод сзади транспортного средства или грузовика. Такие системы также содержат индивидуальные отделения для хранения цемента, заполнителей и воды. Машина загружается всеми материалами на бетонном заводе или на участке хранения, а затем едет на объект. По прибытию к месту ведения работ материалы дозируются и смешиваются для образования свежей набрызгбетонной смеси. Это может быть либо мокрый, либо сухой метод набрызга.

Недостатком такой системы является то, что обычно объем дозирования не превышает 6 м^3 . Из этого следует, что в любом проекте, где в час наносится к примеру 10 м^3 набрызгбетона роботом-распылителем, понадобится как минимум 2 таких агрегата для обслуживания установки-робота. Если одновременно проводятся работы на двух забоях, то потребуется еще больше таких систем.

4.2.4 Контролирование цементной гидратации

Свойства портландцемента: схватывание, твердение и прочность достигаются реакцией цемента с водой. В результате этой реакции образуется твердый материал известный как гель-гидрат силиката кальция.

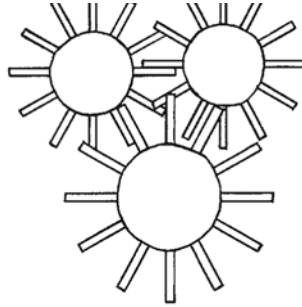
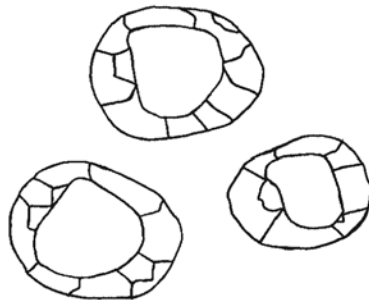


Рисунок 16: В процессе схватывания набрызгбетона, гидраты, образованные цементной гидратацией, флокулируют.

Реакция гидратации, или другими словами взаимодействие ионов кальция с водой с образованием гидрата окиси кальция, формирует оболочку геля вокруг песчинок цемента. По мере схватывания бетона гидраты, образованные цементной гидратацией, флокулируют - это и есть тот процесс, который превращает пластичную смесь в жесткий материал, называемый бетоном (Рисунок 16). Добавляя Стабилизатор Delvo*crete в бетонную смесь можно контролировать гидратацию цемента вплоть до трех суток. Когда Стабилизатор Delvo*crete распределяется и тщательно перемешивается с бетонной смесью, он контролирует гидратацию цемента, задерживая ионы кальция на поверхности цементных частиц. (Рисунок 17)



*Рисунок 17: Когда Стабилизатор Delvo*crete распределяется и смешивается с бетонной смесью, он задерживает гидратацию цемента, образуя оградительный барьер вокруг частиц вяжущего.*

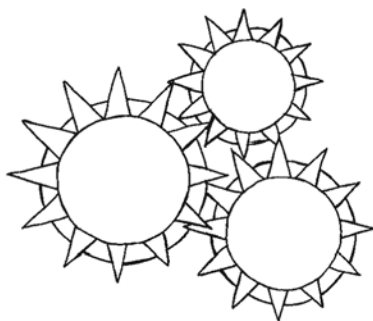
Стабилизатор Delvo*crete выполняет двойную роль, замедляя гидратацию цемента, формируя защитный барьер вокруг цементирующих и пуццолановых частиц, и действует как диспергатор, мешая тем самым гидратам флокулировать и застывать.

Стабильность, обеспечиваемая Стабилизатором Delvo*crete такова, что даже повторно используемый бетон может стабилизироваться и храниться в пластиковых пакетах в течение нескольких минут, часов, ночи и даже до двух дней. Стабилизатор Delvo*crete состоит из карбоновых кислот и фосфора, содержащего органические кислоты и соли.

Он способен задерживать все цементные минералы и понижает процент минерального раствора сульфата кальция. Его сложное действие отличается от действия обычных добавок замедлителей твердения. Он может ускорять один минеральный компонент цемента и, в то же время, замедлять другие. В более высоких дозах обычные замедлители могут даже вызвать сильное гелеобразование бетона, мгновенное схватывание и проявление низкой прочности. Следовательно, используя обычные добавки замедлители в достаточно высоких дозах для достижения той же степени замедления как и со Стабилизатором Delvo*crete, могут произойти вредные эффекты как для пластичного так и для затвердевшего бетона.

Итак, Стабилизатор Delvo*crete может применяться для контроля гидратации цемента на период до 72 часов. Он преимущественно воздействует на гидратацию C3S, но также может замедлять исходную реакцию C3A с водой и сульфатом, если он добавляется с водой затворения.

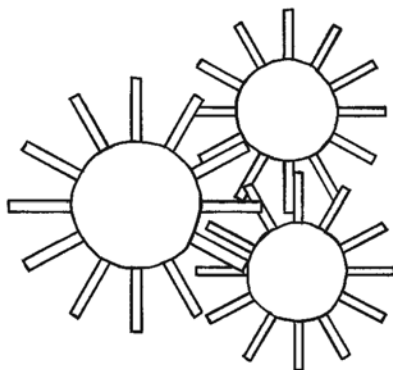
Обычных свойств схватывания и твердевания бетона можно добиться двумя стадиями. В начале добавить Стабилизатор Delvo*crete. А затем ввести в бетон Активатор Delvo*crete, чтобы разрушить защитный барьер, окружающий цементные частицы. (Рисунок 18)



*Рисунок 18: Когда Активатор Delvo*crete рассеивается и смешивается со стабилизированной набрызгбетонной смесью, он разрушает защитный барьер вокруг «стабилизированных» цементных частиц.*

Как только будет разрушен этот барьер, обработанный бетон начнет действовать как обычно. (Рисунок 19)

Из-за различных требований, предъявляемых к схватыванию, твердению и начальной прочности набрызгбетона при креплении горных выработок, разработан ряд Активаторов Delvo*crete, при этом везде используется система контролирования гидратации. Эти Активаторы Delvo*crete разрушают защитный барьер, созданный Стабилизатором Delvo*crete, а затем вступают в реакцию с цементом, способствуя быстрому схватыванию и раннему набору прочности.



*Рисунок 19: Как только Активатор Delvo*crete разрушит барьер, окружающий цементные частицы, происходит нормальная гидратация, схватывание и набор прочности.*

4.2.5 Техническое исполнение

Бетон с контролируемой гидратацией и набрызгбетон, обработанный системой Delvo*crete, в части качества аналогичен или даже превосходит качество стандартно изготовленного бетона без добавок. При применении набрызгбетонной смеси с контролируемой гидратацией получен бетон с улучшенной прочностью на сжатие,

растяжение и изгиб по сравнению с обычными смесями. По наблюдениям Kinney, Стабилизатор Delvo*crete замедляет формирование ядра CSH при введении воды затворения и замедляет как CSH так и СН, если добавляется во время или после индукции. Принято считать, что эта способность воздействовать на образование ядра и рост кристалла ведет к формированию более мелкого СН и более плотных гидратов силиката, в результате чего достигаются более высокие физические свойства смесей.

4.2.6 Сроки схватывания

Сроки схватывания стабилизированного и активированного набрызгбетона сухого и мокрого способов показаны на Рисунке 20.

Мокрый способ набрызга
(стабилизированный и активированный)

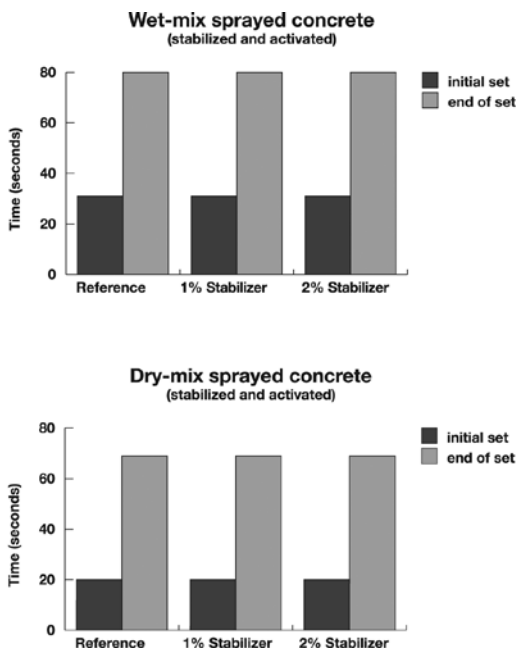


Рисунок 20: Сроки схватывания набрызгбетона с контролируемой гидратацией

initial set-начало схватывания
stabilizer-стабилизатор
end of set-конец схватывания
time(seconds)-время (в секундах)
reference-Немодифицированный образец

Сухой способ набрызга
(стабилизированный и активированный)

Активаторы Delvo*crete играют двойную роль тем, что они:

- нейтрализуют воздействие Стабилизатора Delvo*crete на цемент
- ускоряют гидратацию цемента, сокращая тем самым сроки схватывания и набора прочности, требуемые при набрызге.

4.2.7 Прочность

Предел прочности и несущая способность набрызгбетона при креплении горных пород часто второстепенны относительно требований, предъявляемых к быстрому схватыванию и высокой начальной прочности. Для достижения последних свойств, к набрызгбетону у сопла добавляют ускорители. Ускорители большей частью основаны на солях алюминатов или силикатов, и приводят к потерям прочности в возрасте 28 суток, наибольшие потери прочности происходят при использовании алюминатов. На самом деле в не происходит потерь прочности, скорее всего прекращается нарастание прочности через 3 суток, в сравнении с аналогичной смесью без ускорителя.

Стабилизированный и активированный набрызгбетон с системой контроля гидратации также может проявить более низкий прирост прочности между 3 и 28 сутками подобно стандартному набрызгбетону с ускорителем. Существует несколько видов Активаторов Delvo*crete для крепления горных выработок. Выбор и доза отдельного вида зависят от качества цемента и, в равной степени, от требований, предъявляемых к начальной прочности и срокам схватывания.

Интересно, что для смеси с контролируемой гидратацией требуется меньшая доза Активатора Delvo*crete, чем доза ускорителя, требуемая для нормальной смеси. Вероятно это из-за факта, что цемент в стабилизированной смеси хорошо рассеивается и все еще «свежий» (т.е. негидратированный). Активатор Delvo*crete может действовать более эффективно, чем ускоритель, употребляемый в обычной смеси.

4.2.8 Отскок

Отскок при набрызгбетонных работах является причиной больших дополнительных затрат в проектах подземного строительства, и в интересах подрядчика и владельца свести эти затраты к минимальным.

Как показали испытания в полевых условиях в Европе и Азии, у набрызгбетонных смесей с контролируемой гидратацией наблюдается более низкий отскок, чем у чистых смесей. Вероятно это результат того, что в таких смесях не происходит преждевременного процесса гидратации и, следовательно, “свежий” цемент распыляется непрерывно, независимо от времени прошедшего между изготовлением смеси и набрызгом.

В тоннеле Flurlinger в Швейцарии проведены сравнительные испытания отскока обычного набрызгбетона и набрызгбетона с контролируемой гидратацией, которые показали, что отскок стабилизированной смеси был на 10 единиц ниже, чем у нормальных смесей.

Применение набрызгбетона в проекте Тоннеля Flurlinger, Швейцария

Состав смеси (в расчете на м³):

Цемент	425 кг
Заполнитель (0-16мм)	1730 кг
Суперпластификатор	0,8%
Стабилизатор Delvo*crete	0,6%
Активатор Delvo*crete S51	5,0%
водоцементное отношение	0,45
осадка конуса(на металлическом подносе): при смешивании	600мм.
Через 4 часа	580мм.
Через 9 часов	560мм.

Прочность на сжатие (28 суток):

Минимально требовалось	25 МПа
В среднем достигнуто	33,5 МПа

Измерение отскока

(автоматизированный набрызг): от 8 до 10%(в среднем)

В начальный период работ подрядчик использовал стабилизированный набрызгбетон только в ночную смену в связи с тем, что местное законодательство об охране окружающей среды ограничивало работу смесительной установки, установленной на строительном участке с 7:00 утра до 22:00.

Это означало, что подрядчик не мог получить бетонные смеси после 22:00. Решить эту проблему удалось с помощью применения стабилизированного набрызгбетона и доставки его на автомобилях до 22:00. Затем смеси перевозились в тоннель и наносились как и требовалось по плану работ на протяжении всей ночной смены. Позднее, принимая во внимание положительный опыт в части снижения отскока, повышения качества и эффективности, подрядчик предпочел употреблять стабилизированные бетонные смеси и в дневные смены. При этом затраты на химические добавки контроля гидратации полностью компенсировались снижением отскока. Благодаря этому достигнута значительная экономия в проекте.

4.2.9 Экономика

Оценка технических результатов и калькуляция себестоимости различных компонентов, влияющих на окончательную цену работ по набрызгбетонированию в крупных подземных проектах представляется весьма сложной задачей. Многие из этих затрат упускаются или недооцениваются со стороны подрядчиков. Затраты можно суммировать следующим образом:

- стоимость набрызгбетонной смеси за m^3
- затраты на работы по нанесению набрызгбетона с учетом отскока и других потерь (здесь цена $1m^3$ может на 100% превышать цену доставленного бетона).
- расходы при сборе, погрузке, перевозе и разгрузке материала отскока с места ведения работ в соответствующий пункт, разрешенный и одобренный властями
- затраты на возвращенную бетонную смесь, которая бракуется из-за давности срока
- расходы на промывку и чистку оборудования (насосов и шлангов), а также на ремонт этого оборудования в результате его засорения, дополнительные затраты, связанные с задержкой производственных процессов
- затраты вследствие замены участков с дефектным набрызгбетоном
- стоимость технического обслуживания набрызгбетонных насосов и оборудования
- стоимость и техническое обслуживание смесительных машин, если они используются в работах
- расходы на установку передвижных смесительных установок на участке работ, если ближайший бетонный завод готовых смесей находится слишком далеко от участка; круглосуточная работа за вода.

- затраты вследствие простоя оборудования и персонала, при задержках и перерывах поставок набрызгбетона

Трудно оценить и измерить многие из этих затрат на раннем этапе проекта, поэтому они упускаются из виду. Но можно заметить, что снижение отскока дает больше преимуществ подрядчику, чем приобретение более дешевого материала.

При применении системы контролирования гидратации Delvo*crete в крупномасштабных проектах для мокрого способа набрызгбетонирования снижения себестоимости можно добиться благодаря следующему:

- снижению отскока
- уменьшению объема перевозимого материала вследствие снижения отскока
- устранению некачественного, в следствие давности поставок, набрызгбетона
- сокращению операций по чистке и промывке оборудования и необходимых перерывов в работе
- повышению качества набрызгбетона вследствие применения набрызгбетона с неистекшим сроком годности
- устранению дополнительного оборудования смешения
- снижению расходов в сверхурочное время работ и вынужденных простоев из-за задержек в поставках набрызгбетона

Таким образом, использование системы контролирования гидратации Delvo*crete в набрызгбетоне может быть весьма экономичным. Стабилизатора Delvo*crete вводится в бетон в пределах 0,4-2,0% (по весу).

Это стабилизирует цемент от 3-4 часов до 3 суток. Очевидно, что количество стабилизатора Delvo*crete будет зависеть от специфических требований подрядчика, но как правило, вводимое количество добавки составляет 0,6% по отношению к весу цемента для большинства работ. Активаторы Delvo*crete обычно вводятся в тех же или слегка меньших дозах, что и ускорители, которые применяются для тех же набрызгбетонных смесей, не содержащих стабилизатора Delvo*crete.

Таблица 3 показывает сравнение набрызгбетона при обычном мокром способе и в случае с контролируемой гидратацией для крепления горных выработок, с крупным заполнителем (0-6мм). Если у обычной смеси был отскок 20%, стоимость набрызгбетона составила бы 121,10 США /0,8 =151,38 \$ США за м³. Для получения той же стоимости набрызгбетона с контролируемой гидратацией, отскок смеси должен быть(1-

133.86/151.38)x100=11%. Снижение отскока до требуемой величины (40-50%) - не редкий случай и его можно добиться, как это было сделано подрядчиком в проекте Тоннеля Fluringer.

Таблица 5:

Материал	Стоимость единицы (\$ США)	Обычная смесь	Смесь с контролируемой гидратацией
Цемент	\$ 80 /тонна	420 кг 33,6 \$	420 кг 33,6 \$
Микросилика	\$ 450 /тонна	40 кг 18,0 \$	40 кг 18,0 \$
Заполнитель (0-10)	\$ 15.00/ тонна	1680 кг 25,2 \$	1680 кг 25,2 \$
Вода	-	210 кг	210 кг -
Пластификатор	\$ 0,70/кг	3 кг 2,10 \$	3 кг 2,10 \$
Суперпластификатор	\$1,10/кг	4 кг 4,40 \$	3 кг 3,30 \$
Стабилизатор Delvo*crete (0.6%)	\$ 3,50/кг	-	2,76 кг 9,66 \$
Осадка конуса	-	200 мм и больше	200 мм и больше
Обычный ускоритель(5%)	\$ 1,8/кг	21 кг 37,8\$	-
Активатор Delvo*crete(5%)	\$ 2,0/кг	-	21 кг 42,0\$
	Общая сумма	121,10 \$	133,86 \$

Армированный стальными фибрами набрызгбетон по определению большей стоимости (как правило, его стоимость на 200 \$ США больше неармированного). Такое же или даже меньшее снижение отскока может компенсировать расходы на химикаты системы контроля гидратации.

Кроме экономии за счет снижения отскока, подрядчик сократит расходы при операциях по очистке и возвращению отходов набрызгбетона. Он сможет уменьшить время простоя набрызгбетонных насосов и персонала, и в целом будет уверен в высоком качестве каждого кубического метра использованного набрызгбетона.

4.2.10 Подведение итогов

Набрызгбетонные смеси с контролируемой гидратацией являются экономичной и эффективной разработкой для крепления горных выработок.

- приостанавливая гидратацию цемента в набрызгбетонной смеси до момента ее смешения с ускорителями у сопла распыления, можно гарантировать высокое качество использованного набрызгбетона
- сокращение расходов только за счет снижения отскока может возместить затраты на дополнительную стоимость системы контроля гидратации
- подрядчики могут добиться уменьшения затрат в результате снижения отскока и устранения образования отходов набрызгбетона
- набрызгбетонные смеси с контролируемой гидратацией предоставляют больше гибкости в разработке графика и планировании операций набрызга в проектах подземного строительства.

4.2.11 Изучение отдельных случаев

Гибкость, высокая производительность и другие преимущества современного влажного метода набрызга прямо и тесно связаны с правильным применением добавок и использованием соответствующего оборудования. Примеры, проведенные ниже демонстрируют результаты, которые могут быть достигнуты правильным выбором материалов и оборудования.

А) Мокрый способ набрызга с Delvo*crete Метро в Афинах

Проект метро в Афинах включает в себя 20 станций и 18 км тоннелей. В тендерных документах был детально предложен способ сухого набрызга. Однако подрядчиков удалось убедить в том, что мокрый способ во всех аспектах в выгодную сторону отличается от сухого метода. Мокрый способ был применен в работах. Бетон изготавливается на центральном бетонном заводе и в автобетономешалках доставляется на несколько участков. На участках находятся склады-буферы для хранения бетона, объемом до 12м³ максимум. Буфер оснащен также мешалкой, которая может быть задействована при необходимости.

Бетон отправляется из активатора в бетононасос, и далее через систему трубопроводов по стволу шахты (как правило 20 м. глубины) в тоннель, где поступает в машину для набрызгбетона MEYCO* Suprema .

Расстояние от бетононасоса до сопла обычно составляет от 100 до 150 м.

Нормальная последовательность работы подразумевает использование от 3 до 4м³ набрызгбетона с перерывами в 3-4 часа. В течение этого времени вся система от бетононасоса до сопла не промывается и смесь остается в работоспособном виде.

Тщательная чистка системы доставки проводится лишь раз в неделю.

Такая система технического обеспечения возможна только благодаря Стабилизатору Delvo*crete. Добавляя максимально 2% от веса цемента, можно предотвратить любую гидратацию вплоть до 72 часов. При использовании Delvo*crete в качестве стабилизатора бетонной смеси, ускоритель вводится только у сопла распыления, где и начинается процесс гидратации бетона.

Некоторые ключевые сведения о набрызгбетоне:

- в состав смеси входят: цемент – 400 кг, заполнитель (0-8мм), суперпластификатор Rheobuild 716 (1,2%), Стабилизатор Delvo*crete (1%), водоцементное отношение <0,45, осадка конуса 18-20см на бетонном заводе. Активатор Delvo*crete S 71 (5-6%) добавляется у сопла распыления
- при таком составе смеси отскок не превышает 10%, набор начальной прочности лучше, чем в группе J3 в соответствии требованиями Австрийских Норм Набрызгбетона, прочность в возрасте 24 часов 13-17 МПа и 30МПа через 28 суток.

Метро в Лондоне, Линия Jubilee, Секция 102

С бетонного завода, расположенного на поверхности, бетон доставляется по вертикальной шахте глубиной 35м, откуда он перевозится на смесительных машинах объемом 4 м³ к бетононасосу MEYCO Suprema, расположенному на расстоянии от 45м до 100м позади сопла, в зависимости от прогресса работы за неделю.

Нормальная последовательность работы подразумевает применение от 4 до 5м³ набрызгбетона, затем перерыв от 2 до 3 часов до следующего применения. Чистка и промывка оборудования при этом производится раз в неделю или время от времени при засорении. Скорость проходки тоннеля с диаметром 5 м в Лондонских глинах составляет около 30 м в неделю при 5 дневной рабочей неделе и 24 часовом графике работы.

Некоторые ключевые сведения о набрызгбетоне:

- в состав смеси входят: цемент- 440 кг, заполнитель 0-10мм, суперпластификатор Rheobuild 3520(1,15%), Стабилизатор Delvo*crete (0.9%), осадка конуса 20см на бетонном заводе и 13 см под землей (измерение потока согласно DIN более целесообразно с использованием этого суперпластификатора) и Активатор Delvo*crete S 51 (4-5%), добавляемый у сопла.
- такая смесь и производство работ обеспечивают отскок не более 5%, 24 часовую прочность от 20 до 24 МПа и 28-дневную прочность 30 МПа.

Интересно отметить, что изначально Delvo*crete не использовался. Это привело к потерям около 2 м³ набрызгбетона на каждые нанесенные 4м³, вследствие чистки оборудования между этапами применения.

Тоннель Biana, Испания

Тоннель Biana длиной 1800м является частью Шоссе Андорра во Франции.

Подрядчик-Dragados y Construcciones. Ограниченная строительная площадка создает некоторые препятствия для обычных тоннельных операций. Ближайший бетонный завод расположен в 25 км от рабочего участка, и добраться до него можно только через старинный горный перевал. Более 1,5 часов необходимо до Северного портала и 50 минут до Южного портала тоннеля.

Непрерывный 24 часовой график работы в течении 20 месяцев требует гарантированную непрерывающуюся поставку 15.000 кубических метров набрызгбетона, даже в суровых условиях погоды для применения при креплении горных выработок.

Системой Delvo*crete набрызгбетонные смеси стабилизируются в заводских условиях и сохраняются в среднем в течение 14 часов. За это время они доставляются на рабочий участок и хранятся до применения. Благодаря этому представляется возможным постоянное наличие свежих смесей.

Некоторые ключевые сведения о набрызгбетоне:

- свойства бетона:

- осадка конуса	23 см
- осадка конуса через 14 часов	19 см
- прочность на сжатие	
в возрасте	1 день: 9 МПа

	3 суток:	18 МПа
	7 суток	27 МПа
	28 суток:	40 МПа
- отскок:		< 6%
- производительность		9 м³/час
- состав смеси (в расчете на м³)		
цемент		500 кг
микросилика		16 кг
песок (0-1мм)		150 кг
песок (0-6мм)		1400 кг
гравий (6-12мм)		20 кг
Rheobuild 561		5 кг
Стабилизатор Delvo*crete		3-5кг
Стальные фибры Dramix		40кг
Вода		225кг
Активатор Delvo*crete S61		30кг

Шоссе A-14, Париж

Двухпутный автодорожный тоннель длиной 1700 м был сооружен с помощью системы Perforex под Парижем. Perforex - название оборудования для нового метода проходки тоннелей, который состоит из предварительного пропиливания по контуру сводовой части тоннеля и заполнения выбранного пространства по контуру свода бетоном или набрызгбетоном с высокой начальной прочностью. Тем самым создается предварительная крепь выработки до начала проходки основного сечения тоннеля. Такой метод особенно эффективен для проходки тоннеля на полное сечение в неустойчивых породах на участках под густо населенными районами. Метод Perforex требует простых и надежных материалов, с которыми легко обращаться и которые можно определить как технологичные.

Некоторые ключевые сведения о набрызгбетоне:

- стабилизатор системы Delvo*crete обеспечил необходимую гибкость при укладке набрызгбетона
- активатор системы Delvo*crete обеспечил необходимую высокую начальную прочность; в среднем в течение 4 часов достигалась прочность 11-13 МПа вместо требуемых 6 МПа; а в течение 7 часов до 17МПа.
- сократилось время производства тоннельных работ. Все операции от начала до конца производились быстрее
- состав смеси (в расчете на м³):

цемент	425 кг
заполнитель (0-8мм)	1660 кг
вода	190 литров

Rheobuild 2000PF	1% (от веса цемента)
Стабилизатор Delvo*crete	0,4%(от веса цемента)
Активатор Delvo*crete S 71	5% (от веса цемента)

Тоннель Ditschardt, Германия

Тоннель Ditschardt представляет собой часть объездной дороги вокруг города Altenahr, который находится в 40 км к югу от Бонна. Длина тоннеля 565 м, поперечное сечение -145 м². Тоннель принят буровзрывным способом с применением для его крепления набрызгбетона, армированного сетками, и анкерами, в некоторых случаях с арками или арматурными каркасами. Бетонную смесь для мокрого способа набрызга необходимо было доставлять с бетонного завода, который находился в 25 мин езды от участка производства работ.

Дополнительно необходимо было учитывать время ожидания из-за изменяющегося цикла тоннельных работ.

Некоторые ключевые сведения о набрызгбетоне:

- стабилизатор системы Delvo*crete обеспечил необходимую гибкость при укладке набрызгбетона без ущерба качеству. Бетонная смесь, доставленный на участок хранилась в рабочей мешалке до момента применения.

Пластификатор добавлялся для повышения удобоукладываемости до показателя 50см.

- состав смеси (на м³):

цемент марки CEM I 32,5 R	380 кг
песок (0-2мм)	880 кг
заполнитель (2-8мм)	980 кг
вода	200 кг
Woerment FM 21(пластификатор)	0,5% (от веса цемента)
Стабилизатор Delvo*crete	0,8%(от веса цемента)
Активатор Delvo*crete	6,1%(от веса цемента)

- Система гидратации Delvo*crete оказалась в равной степени надежной в холодную зиму 95/96гг и на протяжении лета.

В) Сухое набрызгбетонирование с Delvo*crete

Тоннель Brighton & Hove Stormwater Relief, Соединенное Королевство

Тоннель Brighton & Hove Stormwater Relief был проведен 30-40 м ниже поверхности береговой полосы между Brighton и Hove на Юго-Восточном побережье Великобритании. Основной тоннель - длиной 5,3 км и диаметром 6м. Для проходки тоннеля был исполь-

зован механизированный тоннелепроходческий комплекс. Обделка тоннеля выполнялась из армированных бетонных сегментных блоков.

Монтажная камера для тоннелепроходческого комплекса была выполнена с использованием Новоавстрийского метода и с применением набрызгбетона. Тоннель расположен в зоне отдыха и знаменитого курорта, где из-за особых требований к окружающей среде размещение бетонного завода было запрещено. Бетонные смеси, требуемые в различное время суток, должны были доставляться на расстоянии до 12 км.

Для обеспечения регулярной поставки качественного набрызгбетона была применена система Delvo*crete. Taylor Woodrow Civil Engineering был главным подрядчиком работ. Сухая смесь для набрызгбетона предварительно стабилизированная системой Delvo*crete из-за влажности в тоннеле, наносилась с помощью двух машин MEYCO GM 90 и в зоне сопла активировалась системой Delvo*crete S 51. Набрызгбетон в возрасте 15 часов дал отличные результаты.

4.3 Улучшение качества бетона (внутреннее твердение)

В тоннелях и другие подземных объектах имеется ряд негативных условия с точки зрения твердения бетона из-за вентиляции, которая непрерывно подает сухой (холодный или горячий) воздух в тоннель. Это можно сравнить с бетоном, оставленным незащищенным на ветру. С другой стороны, принимая во внимание высокую влажность в тоннелях, можно констатировать, что условия для набора бетоном прочности в подземных выработках весьма подходящие.

4.3.1 Исходные данные

Уход в период твердения является важным для набрызгбетона. Высокое водоцементное отношение приводит к большим внутренним напряжениям в нанесенном бетоне и, в результате, к его расстрескиванию.

Еще одной причиной плохого качества бетона является быстрое его высыхание из-за наличия вентиляции в тоннеле и нанесения его чрезмерно тонкими слоями. Для устранения всех перечисленных недостатков должны использоваться эффективные продукты, обеспечивающие качественное твердение набрызгбетона.

Применение специальных продуктов по уходу за бетоном влечет за собой некоторые ограничения: они не должны содержать растворителей (применение в закрытом помещении), не должны оказывать негативного влияния на сцепление между слоями и должны наноситься сразу после нанесения набрызгбетона. Большая часть применяемого в мире набрызгбетона не имеет достаточного сцепления и в нем возникает много трещин из-за отсутствия контроля за его твердением.

С началом эры использования набрызгбетона в качестве постоянной отделки, требования к его долговечности и надежности значительно возросли. Требования заключаются в хорошем сцеплении, высокой конечной прочности на сжатие и плотности для обеспечения стойкости против химического воздействия, морозоустойчивости, водонепроницаемости и высокую степень его безопасности.

При использовании специальных продуктов по уходу, необходимо тщательно очищать поверхность набрызгбетона до нанесения следующего слоя. Очистка должна производиться с использованием высокого давления воздуха и с большим объемом воды (применяя насос распыления и сопло, нагнетая воздух у сопла). Другой проблемой является необходимость быстрого нанесения твердеющих добавок сразу после завершения процесса набрызгбетонирования. Для обеспечения гарантированного процесса твердения набрызгбетона, продукты по уходу должны наноситься не позднее 15-20 минут после набрызга. Благодаря ускорителям схватывание набрызгбетона обычно происходит спустя короткое время от 5 до 15 минут. Гидратация и температура в высшей степени эффективны в течение первых минут и часов после нанесения набрызгбетона и чрезвычайно важно защитить набрызгбетон на этой критической стадии.

Применение продуктов по уходу за бетоном требует двух трудоемких операций таких как: нанесения агента по уходу на набрызгбетонную поверхность и его удаления с поверхности набрызгбетона между слоями в случае многочисленных слоев. Во многих странах, где накоплен значительный опыт использования мокрого способа набрызга, например в Норвегии или Швеции, и представляется трудным убедить подрядчиков к переходу на метод использования набрызгбетона с агентами по уходу за бетоном.

Были проведены эксперименты с использованием специального твердеющего вещества Masterkure 112 для набрызгбетона. Этот продукт не содержит растворителей, легко наносится и удаляется. Он используется во многих крупных проектах в разных странах и

езде приводит к хорошим результатам. Применение специальных веществ по уходу за набрызгбетоном улучшает сцепление на 30-40% в сравнении с теми случаями, когда бетон твердел на воздухе, а также слегка повышается плотность и прочность на сжатие (в возрасте 28 суток). Эти результаты подтверждены рядом лабораторных тестов и натурных испытаний. Но для достижения хороших результатов требуется надлежащая чистка перед нанесением последующих слоев набрызгбетона. Даже при наличии удобных материалов и хорошего оборудования, обеспечение специальных условий твердения набрызгбетона остается работой, отнимающей много времени и часто является помехой для других тоннельных работ.

4.3.2 Повышение качества бетона с MEYCO* TCC 735

BASF разработала новую систему для более эффективного и надежного твердения набрызгбетона, наносимого мокрым способом, и для других бетонных работ.

Метод повышения качества бетона путем обеспечения его внутреннего твердения означает, что к бетону/строительному раствору добавляется специальная добавка во время смешивания, обеспечивающая внутренний барьер в бетоне и тем самым создавая условия гидратации и устойчивости процесса. Преимущества, получаемые в результате использования новой технологии впечатляют:

- не израсходуется много времени на применение, а в случае различных слоев набрызгбетона не возникает необходимости в удалении веществ твердения
- твердение обеспечено с самого начала гидратации
- нет негативного влияния на сцепление между слоями

В результате улучшения условий твердения бетона путем его изоляции от внешнего влияния улучшаются все другие свойства набрызгбетона: плотность, конечная прочность, химическая стойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и другие.

К тому же, MEYCO*TCC 735 повышает технологичность и удобоукладываемость набрызгбетона даже с заполнителями низкого качества. Также он частично улучшает прокачиваемость бетононасосом набрызгбетонных смесей, армированных стальными фибрами. В сочетании с системой MEYCO*TCC 735, представляется возможным снизить вероятность закупорки шлангов фибрами и снизить отскок фибр, тем самым повышая прочность конструкции.

4.3.3 Испытания новой технологии

Система повышения качества бетона с MEYCO*ТСС 735 была испытана с достижением положительных результатов как в лабораториях, так и в натурных условиях. Всеобъемлющие научно-исследовательские программы были проведены в Норвегии (SINTEF), Швейцарии (Институт LPM) и в Австрии (Университет Innsbruck). Во всех испытаниях сцепление достигало 2,0 МПа при этом разрушения происходили внутри слоя бетона, а не на контакте. Плотность бетона и его прочность в возрасте 28 суток были выше на 10% в сравнении с набрызгбетоном, который в тех же условиях твердел обычным образом.

Наглядны результаты с большого опытного участка на Ближнем Востоке:

- повышенное сцепление в сравнении с бетоном, который не подвергался уходу при твердении: >100% (от 0,5-0,7 до > 2,0 МПа)
- повышенное сцепление в сравнении с случаем, когда уход за бетоном производился с помощью специального покрытия > 30-50% (от 0,7-1,2 до > 2,0 МПа)
- все выбуренные керны из набрызгбетона, обработанного MEYCO*ТСС 735, показывают сцепление >2,0 МПа. Разрушения были только в бетоне, а не на контакте
- повышенная плотность (>15%) в сравнении с набрызгбетоном, обработанным наружным уходом за бетоном
- повышенная прочность (28суток) по сравнению с набрызгбетоном, твердевшим на воздухе или обработанного наружным агентом по уходу за бетоном (>10%)
- нет признаков растрескивания

4.3.4 Преимущества от повышения качества с MEYCO*ТСС 735

- не оказывается влияния на сцепление между слоями или даже гарантирует крепкое сцепление, надежность
- не производится дополнительных работ по применению покрытий-агентов по уходу за бетоном или других методов
- нет необходимости в дополнительной работе для очистки и удаления материала по уходу за бетоном
- уход за бетоном начинается с первых секунд, следовательно в решающий период
- меньше трещин
- лучшая химическая стойкость
- повышенная водонепроницаемость

- повышенная морозостойкость
- улучшается удобоукладываемость, особенно способность к перекачиванию
- действует независимо от качества заполнителя и его чистоты
- в особенности хорошо действует с набрызгбетоном, армированным стальными фибрами; производит лучшую ориентацию фибр, снижает отскок фибр и, как следствие, увеличивает прочность
- расходуется меньше времени в расчете на $\text{м}^3/\text{м}^2$ из-за высокой производительности и уменьшения рабочих операций
- повышенная плотность
- улучшенная конечная прочность на сжатие

4.3.5 Надежное и экономичное решение

- с MEYCO*ТСС 735 достигнута экономичность всех работ по набрызгу: устраняются дополнительные работы, связанные с применением покрытий по уходу за бетоном и подготовки поверхности, снижается отскок набрызгбетона (отскок фибр), более чем компенсируются затраты на приобретение дополнительных материалов
- MEYCO*ТСС 735, обеспечивая более надежное твердение, он также изменяет и улучшает метод применения продуктов по уходу за бетоном, обеспечивая возможность введения этого продукта как добавки при приготовлении бетонной смеси

Таблица 6: Сравнение стоимости способов ухода за бетоном в расчете на м^3 бетона, при использовании вводимого в смесь продукта, наружного покрытия и ухода периодическим поливом воды, на одном из объектов, где набрызгбетон когда-либо использовался в таких объемах: $>200.000 \text{ м}^3$, мокрый способ (HPS) набрызгбетонирования, использованного на протяжении 2,5 лет.

	Уход с помощью воды	Наружное покрытие	Улучшенный бетон с внутренним продуктом
Материал	-	Шв.франк 14	Шв.франк 15
Применение Рабочие часы Стоимость машин	Шв.франк 25,2 Шв.франк 280-	Шв.франк 1 Шв.франк 18	- -

Удаление	-	Шв.франк	-
Рабочие часы	-	10,8 Шв.франк	-
Стоимость машин		80	
Общая стоимость за м³	Шв.франк 305,2	Шв.франк 123,8	Шв.франк 15

4.3.6 Результаты некоторых испытаний набрызга

Большинство факторов в тестах были установлены для того, чтобы оценить действительное различие в производительности трех смесей и систем.

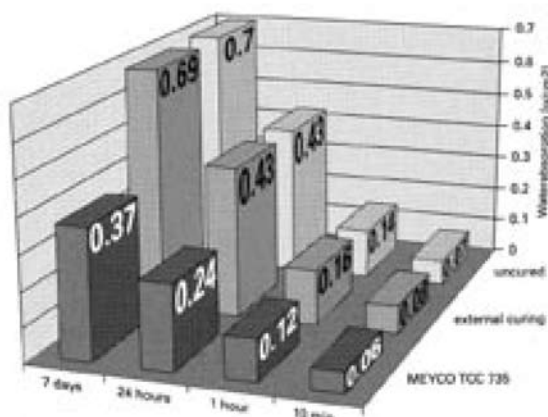


Рисунок 21: Поглощение воды выбуренными кернами (гр/см²)

7 days- 7 дней

24 hours-24 часа

1 hour-1 час

10min-10 минут

waterabsorption(g/cm²)- поглощение воды(гр/см²)

uncured- без ухода

external curing-наружное покрытие для ухода за бетоном

(Ссыл. М.Тестор Ученая Степень Магистра
Университета Innsbruck, 1997г)

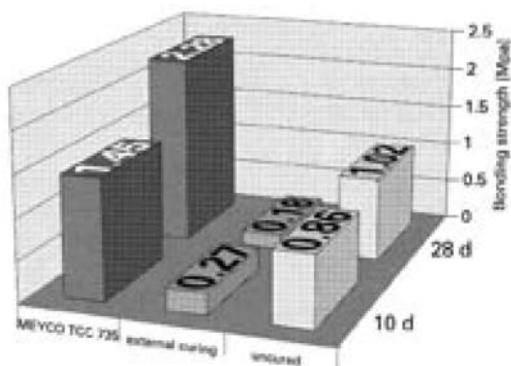


Рисунок 22: Сцепление набрызгбетона с бетонным основанием (МПа) при испытании выбуренных кернов (Ссыл. Результаты теста LPM с испытаний внутреннего слоя набрызга).

External curing-Наружное покрытие
uncured- без ухода
Bonding strength MPa- Сцепление МПа

Таблица 7: Состав смеси на 1 м³

	Немодифицированный образец (без ухода за бетоном)	Наружное покрытие для ухода за бетоном	Улучшенный бетон внутреннего ухода за бетоном
Цемент 42.5 II A-L (с)	450 кг	450 кг	450 кг
Микросилика	22,5 кг	22,5 кг	22,5 кг
Водоцементное отношение	0,45 кг	0,45 кг	0,45 кг
Песок 0-4 мм	1.700 кг	1.700 кг	1.700 кг
Rheobuild* 561	7,125 кг	7,125 кг	-
Masterkure *112	-	0.5кг/м³	-
Rheobuild*3520	-	-	9,5 кг
MEYCO*TCC 735	-	-	5 кг
Rheobuild*700	-	-	1 кг

MEYCO*SA430(от веса)	8%	8%	-
MEYCO*TCC765 (от веса)	-	-	5%
Осадка конуса	23 см	23 см	16 см

Таблица 8:Механические показатели трех смесей

	Контрольный (без ухода за бетоном)	Наружный уход за бето- ном	Улучшенный бетон внутрен- него ухода
Испытание прочности на изгиб на бетонных балках (10х10х40см), UNI 5133, МПа:			
7 суток	3,8	-	5,9-6,1 6,0
28 суток	5,5-4,5 5,0	4,5-4,5 4,5	6,4-6,8 6,6
Тест на отрыв Rilem/CEB/FIP RC6, МПа:			
7 суток	-	-	2,1-1,9 2,0
28 суток	1,5	2,0-1,8 1,9	2,4-2,2 2,3
Сцепление с бетоном (*), МПа :			
7 суток	0,92 (P)	0,9 (P)	1,5 (P)
28 суток	1,02 (I)	1,02 (I)	2,8 (P)
Трещины на балках 1 день 7 суток 14 суток 28суток	Трещины трещины разрушения разрушения	нет трещин нет трещин поверхност- ные трещины тре- щины	нет трещин нет трещин нет трещин нет трещин
Статический модуль упругости, UNI 6556, МПа			
7 суток	17150	-	19100
28 суток	21650	-	22400
Динамический модуль упругости, МПа:			
7 суток	28500	28000	39400
28 суток	36600	37300	39600

(*): Данные величины - среднее число результатов двух тестов

(P): Разрушения произошли в набрызгбетоне

(I): Разрушения произошли на границе слоев между набрызгбетонм и бетонной основой

4.4 Заключение

Delvo*crete, бесщелочные ускорители схватывания MEYCO*SA 160/SA161/SA162/SA170 и система повышения качества бетона являются новым поколением передовых набрызгбетонных технологий, которые устанавливают новые стандарты на набрызгбетон. Они способствуют повышению качества и производительности, в то же время снижают затраты на кубический метр примененного набрызгбетона, тем самым продвигая набрызгбетон как новый строительный материал.

5. Фибры в набрызгбетоне

Бетон с фибрами представляет собой новый материал, который стремительно развивается с появлением новых и постоянно совершенствующихся видов фибр, с усовершенствованной бетонной технологией и способами применения.



Рисунок 23: Стальные фибры, использованные для армирования набрызгбетона для крепления горных выработок

За последние несколько лет применение набрызгбетона, армированного стальными фибрами, основательно продвинулось вперед. Армированный набрызгбетон, как крепь горных выработок, признан инженерами, исследователями и подрядчиками во всем мире.

5.1 Для чего нужно армировать бетон?

Бетон - хрупкий материал. По ряду причин у большей части уложенного бетона и набрызгбетона образуются трещины. Причина появления трещин в бетоне может заключаться в его составе или особенностях его укладки (нанесения) и работы. Но большей частью трещины образуются вследствие свойственной бетону малой прочности на растяжение и изгиб. Бетон также дает трещины вследствие его усадки в процессе гидратации. Для устранения или уменьшения риска возникновения усадочных и других трещин в бетоне, бетон следует армировать сварными сетками или добавлением фибр.

Стальные фибры имеют явные преимущества перед сварными сетками в качестве армирующих материалов. Самым важным из преимуществ является то, что стальные фибры - мелкие и равно-

мерно распределяются по всему объему бетона. Равномерное распределение стальных фибр в бетоне увеличивает его стойкость к образованию трещин вследствие повышения сопротивления растяжению.

5.2 Как стальные фибры действуют в набрызгбетоне?

В наибольшей степени механические свойства набрызгбетона определяются водоцементным отношением, содержанием микро-силики и других добавок набрызгбетонных смесей, таких как ускорителей и добавок, улучшающих условия твердения.

Основная причина использования стальных фибр в набрызгбетоне - повышение упругости материала. Поскольку высокая прочность на изгиб и растяжение не свойственны бетону, повысить эти свойства можно введением стальных фибр, от вида и количества которых будут зависеть указанные свойства. Предпочтительнее использовать длинные волокна ($>25\text{мм}$) в достаточно высоких дозах ($40\text{--}75\text{ кг/м}^3$).

Испытания образцов бетона и набрызгбетона показали, что после твердения прочность на изгиб неармированного набрызгбетона уменьшилась практически на половину вследствие усадки и образования микротрещин, тогда как набрызгбетон, армированный стальными фибрами сохранял свою прочность на изгиб.

Дополнительные преимущества, достигаемые использованием стальных фибр в набрызгбетоне:

- повышенная устойчивость против различного вида динамических воздействий
- повышенная устойчивость на истирание и эрозию
- повышенная водонепроницаемость и морозостойкость из-за предотвращения усадочных трещин
- повышенное сцепление в сравнении с не армированным набрызгбетоном или набрызгбетоном, армированным сварными сетками.

Стальные фибры не целесообразно использовать при сухом способе набрызга из-за высокого отскока фибр ($>50\%$).

5.3 Виды фибр

5.3.1 Фибры из стекловолокна

Фибры из стекловолокна не используют для создания постоянных конструкций из набрызгбетона, так как они спустя некоторое время становятся ломкими и разрушаются в бетоне в результате химических реакций. Поэтому следует избегать использовать их во всех видах бетона, набрызгбетона и других строительных растворах на основе цемента.

5.3.2 Синтетические фибры

Обычные короткие синтетические волокна устойчивы и прочны в бетонной среде. Тем не менее, их механические свойства схожи со свойствами бетона, поэтому они не изменяют свойства бетона на растяжение.

По этой причине синтетические волокна не подходят для применения при креплении горных выработок. Несмотря на это, в случаях, где необходимо армирование только для снижения усадки или для ремонтных работ синтетические волокна хорошо подходят: они весьма эффективны в отношении распределения микротрещин, а также они снижают отскок при мокром способе набрызга. Кроме того, синтетические фибры оказывают положительное влияние на огнестойкость набрызгбетона.

Недавние разработки в США (Synthetic Industries) позволили создать новый вид синтетического волокна, который по форме больше похож на стальные фибры. Так называемые новые синтетические фибры HPP 152 сделаны из высококачественных материалов и производятся длиной 30 и 50 мм. Как показывают результаты различных испытаний в Австралии и Европе, этот вид фибр дает необходимую прочность при умеренном дозировании ($10-13 \text{ кг/м}^3$). Испытания также показывают, что волокна HPP 152 достигают примерно 700-900 Джоулей в соответствии с тестированием плит по EFNARC. Этот результат более или менее равен результату, полученному с $30-40 \text{ кг/м}^3$ высококачественных стальных фибр. Этот новый вид фибр представляет интерес для промышленности и может быть важным дополнением к набрызгбетону в случае, когда стальные фибры нельзя использовать по тем или иным причинам (напр. коррозия поверхности, наличие фибр в тонком слое у поверхности и в случаях, когда требуется эффективное армирование для улучшения долговечности набрызгбетона).

Одна из основных трудностей, с которой мы все еще сталкиваемся при применении новых фибр HPP 152 - это высокая потеря волокна. Проект смеси следует изменять для увеличения факела набрызга, уменьшения расстояния до поверхности и меньшего расхода воздуха. Было бы интересно сочетать небольшую дозу новых фибр HPP 152 со стальными фибрами для достижения высокой упругости, меньшего растрескивания, низкого отскока и экономии затрат из-за меньшего содержания фибр на м³.

Таблица 9: Результаты сравнительных испытаний, проведенных со стальными фибрами Hagex (различные дозы) и HPP 30 и 50мм (различные дозы) в Моаб, Южной Африке. Основываясь на этих испытаниях можно сделать следующий вывод: 7,5 кг/м³ HPP 50 обеспечивают более высокое восприятие энергетических воздействий, чем 40 кг/м³ тестируемых стальных фибр.

Вид и содержание фибр	Толщина панели (мм)	Поглощение энергии Индивидуальные результаты	Средний показатель
20 НХ, 20 кг	A: 107 B: 114 C: 113	194 206 232	211
30 НХ, 30 кг	A: 117 B: 113 C: 132	519 285 341	382
40НХ, 40 кг	A: 99 B: 108	288 370	329
5 HPP, 5 кг (30мм)	A: 110 B: 106 C: 108	224 243 142	203
7,5 HPP, 7,5 кг (30 мм)	A: 92 B: 108 C: 102	136 212 102	150
10 HPP, 10 кг (30мм)	A: 112 B: 108 C: 114	371 393 230	331
5 HPP, 5 кг (50 мм)	A: 106 B: 100 C : 99	249 146 176	190

7.5 HPP, 7.5кг (50мм)	A: 104 B: 100 C: 113	539 35* 394	467
10 HPP, 10 кг (50мм)	A: 107 B: 125 C: 121	527 865 558	650
20	A: 111 B: 124 C: 132	413 401 497	437

Panel visually cracked-result not included in average calculations- Панель с заметными трещинами - результат не включен в средние вычисления

HX: Harex steel fibres, 1100MPa steel quality- HX: Стальные волокна Harex, качество стали-1100MPa

5.3.3 Углеродные волокна

С технической точки зрения механические свойства углеродных волокон должны быть идеальными для крепления горных выработок, но на практике они не применяются из-за высокой стоимости.

5.3.4 Стальные фибры

Стальные - самые широко применяемые в набрызгбетоне. На рынке есть несколько видов волокон, но только некоторые из них отвечают требованиям, предъявляемым набрызгбетону, армированному фибрами.

Самые важные качества стальных фибр:

- профиль или геометрическое сечение
- длина
- отношение длины и толщины (L/D)
- качество стали

Для набрызгбетона самым предпочтительным является длинное волокно с высоким качеством стали (наравне с обычным армированием или выше). Большая часть имеющихся на рынке стальных волокон выполнена из стали недостаточно хорошего качества. Стандартные волокна, которые удовлетворяют требованиям к армированному набрызгбетону, это стальные волокна - Dramix 30/50 и 40/50, Novotex 0730 (0,7x30мм) и Harex CF 30/0,5.

5.4 Технические преимущества стальных фибр

При креплении горных выработок имеется постоянный риск неожиданных нагрузок и деформаций. Снижение риска вывала породы может быть достигнута повышением энергетических характеристик (упругости) набрызгбетонных конструкций.

Тогда как добавление обычных стальных фибр удваивает сопротивление бетона к образованию трещин по сравнению с неармированным набрызгбетоном, современная технология стальных фибр улучшает ее в 50-200 раз, см. Рисунок 24.

Другими словами, современная технология армирования набрызгбетона стальными волокнами позволяет создавать конструкции, которые даже при полном растрескивании и сильной деформации являются работоспособными в течении некоторого срока, достаточного чтобы принять меры по замене или усилению конструкции.

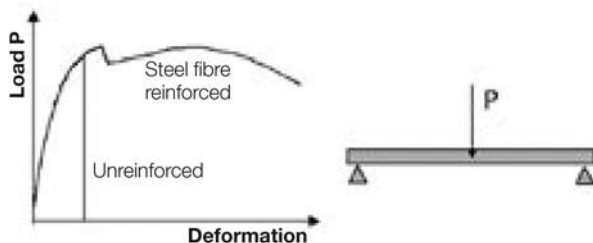


Рисунок 24: 2 кривые показывают деформацию слоя неармированного набрызгбетона и слоя армированного в соответствии с современной технологией стальных фибр под изменяющейся нагрузкой P.

Площадь под кривой - энергия трещинообразования.

load P- нагрузка P

steel fibre reinforced- армированный стальными волокнами

unreinforced-неармированный

deformation-деформация

Энергия трещинообразования для стальных фибр также выше, чем для сварных сеток. Это было доказано натурными испытаниями в начале 80-х независимой Норвежской Ассоциацией Технического Исследования (NTNF), см. рисунок 25.

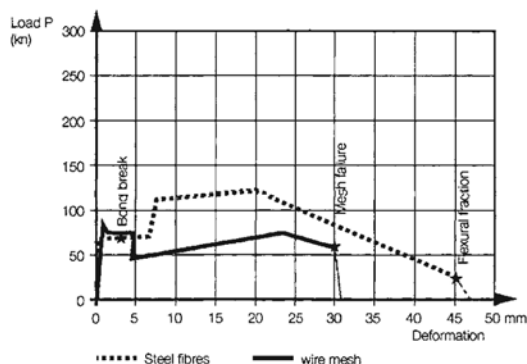


Рисунок 25: Энергия трещинообразования для конструкций, армированных стальными фибрами, в сравнении с конструкциями, армированными сварными сетками.

bond break - разрыв связи

flexural fracture - разрыв на изгиб

mesh failure - повреждение сетки

Тест имитирует падение блока на слой набрызгбетона толщиной 10 см.

а) набрызгбетон с 1% стальных фибр

б) набрызгбетон с расположенной в центре слоя сварной сеткой

Оба вида армированного набрызгбетона были нанесены слоями толщиной 10 см на три гранитных каменных блока (рисунок 26). Через 28 суток средний блок был подвержен действию различных нагрузок (P). При этом измерялись деформации.

Как показывают исследования, энергия для трещинообразования у набрызгбетона, армированного стальными фибрами, намного выше, чем у набрызгбетона, армированного обычными сварными сетками.

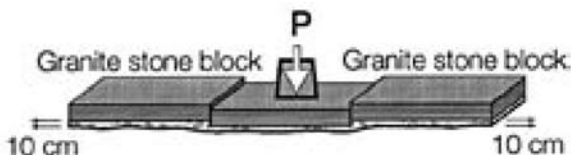


Рисунок 26

granite stone block - гранитный каменный блок см-см.

Теоретически набрызгбетон, армированный сварными сетками, может дать подобные результаты если его толщина будет превышать 15см, и будет использована сталь высокого качества. Широко используемые сварные сетки изготавливаются из проволоки холодно-тянутой. Эти сетки уже легко ломаются от небольших деформаций и поэтому они опасны, так как необходимо постоянно учитывать возможные деформации при креплении горных выработок.

Армирование набрызгбетона сетками WWF тоже проблематично для качества. Создающийся “эффект тени” может привести к образованию пустоты между проволоками сетки. Это серьезная проблема, потому что со временем она приведет к коррозии и растрескиванию бетона.

Недостатки, связанные с недостаточным качеством сварных сеток и проблемой “эффекта тени” легко избежать армированием набрызгбетона стальными фибрами, которые идеально подходят для мокрого набрызгбетонирования и к тому же они требуют меньших материальных затрат. При креплении горных выработок, где всегда возможна деформация, этот фактор является весьма ценным свойством мокрого способа набрызга.

5.5 Экономические преимущества стальных фибр.

Заменяя сварные сетки стальными фибрами можно снизить риск обрушения породы и, одновременно, уменьшить трудоемкость операций, связанных с креплением сеток. В связи с этим фибры могут хорошо конкурировать с обычными сварными сетками.

Армирование набрызгбетона стальными фибрами экономит время и деньги:

- экономия за счет прямых затрат.

Прямая цена стальных волокон составляет 50-60% от цен сварных сеток (работа + материал).

- экономия за счет косвенных затрат:

Можно избежать побочных расходов, имеющих место при нанесении набрызгбетона двумя слоями, необходимыми при применении сварных сеток.

экономия при производстве набрызгбетонных работ:

Набрызгбетон, армированный стальными фибрами, можно наносить одним слоем независимо от особенностей поверхности породы. При этом не повышается отскок набрызгбетона, что имеет

место в случае использования в качестве армирования сварных сеток (из-за наличия «эффекта тени»).

5.6 Проектирование смеси для набрызгбетона, армированного стальными фибрами

Армированный стальными фибрами бетон требует определенных знаний и мастерства в практическом проектировании смеси.

- набрызгбетон, армированный фибрами, требует применения микросилики и других добавок для нейтрализации негативных эффектов фибры на показатели прокачиваемости смеси. Более того, важно чтобы сцепление между сталью и матрицей бетона было оптимальным, чего можно добиться добавлением микросилики и заполнителя с максимальным размером до 8 мм.



Рисунок 27: Современный набрызгбетон: Автоматизированный набрызг с использованием стальных фибр и прогрессивных добавок.

- требуется более высокое содержание мелкого материала (минимум 400 кг)
- осадка конуса для смеси должна быть повышена до 10-14см. Это означает, что набрызгбетон, армированный фибрами, требует боль-

шего количества или лучшего качества суперпластификаторов

- длина фибр должна по крайней мере в два раза превышать размер самого крупного заполнителя
- с другой стороны, длина волокон не должна превышать 50-60% диаметра сопла. Это значит, что для ручного набрызга обычная максимальная длина волокна должна составлять 25мм, а для роботов-манипуляторов с диаметром сопла 65мм можно использовать волокна длиной до 40мм
- стальные фибры можно добавить до, после или во время перемешивания материалов. Если образуются комки, это часто устраняется изменением последовательности дозирования.

6. Долговечность набрызгбетона

Как следствие возрастающего объема использования набрызгбетона в качестве постоянного строительного материала, требования предъявляемые к его прочности соответственно возрастают. Применение традиционных ускорителей в больших количествах приводит к серьезным повреждениям набрызгбетона даже за короткое время после его устройства.

Прочность тоннельной обделки должна быть такой, чтобы обделка оставалась надежной и работоспособной в течение длительного времени без больших затрат на техническое обслуживание. Чтобы достичь этого, проектировщику необходимо оценить внешние условия, влиянию которых подвергнется конструкция во время строительства и впоследствии с учетом возможных перемен окружающей среды.

Помня об этом, термин «долговечность» можно отнести к сооружениям, способным воспринимать все проектные нагрузки в строительный период и в течение срока эксплуатации. Таким образом, с использованием набрызгбетона в качестве постоянных однослойных обделок (см. главу 9), продолжительность работы бетона должна быть 100 и более лет.

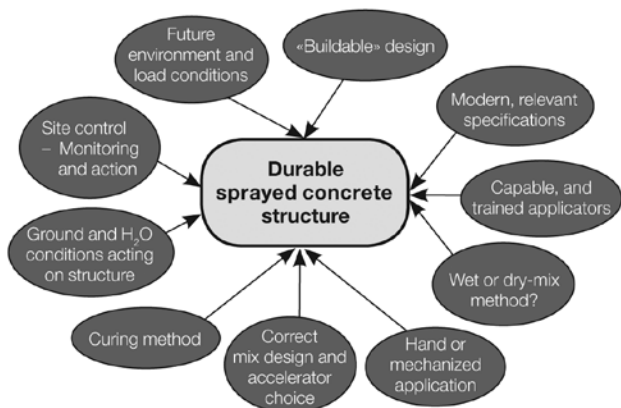


Рисунок 28 : Факторы долговечности набрызгбетонной конструкции

Durable sprayed concrete structure-Долговременная стойкость набрызгбетона
«Buildable design»- Работоспособность
Modern, relevant specifications- Современные существенные спецификации
Capable and trained applicators- Квалифицированные и обученные кадры
Wet or dry-mix method- Сухой и мокрый способы набрызга
Hand or robotic application- Ручное или автоматизированное применение
Correct mix design and accelerator choice- Правильный состав бетона и выбор ускорителя
Curing method- Метод твердения
Ground and H₂O conditions acting on structure- Горно-геологические и гидро-геологические условия, влияющие на сооружение
Site control-Monitoring&action- Методы контроля качества применения
Future environment & load conditions- воздействия в будущем: окружающая среда и нагрузки

Как показано на рисунке 28, долговечность набрызгбетонной крепи определяется посредством множества возможных параметров. Качество проектирования бетонной смеси армированной фибрами, а также условия твердения бетона являются необходимыми, но недостаточными условиями для обеспечения надежности и долговечности конструкции. Значительным условием качества набрызга является мастерство оператора и производительность оборудования для набрызга. Основные факторы долговечности, перечисленные на рисунке 28, кратко рассмотрены в этой главе.

6.1 Реализованные проекты

В существующих бетонных тоннельных конструкциях проблемы долговечности главным образом не связаны непосредственно с бетоном. Чаще они относятся к коррозии элементов стального армирования, недостаточно защищенных от воздействия воды. Тоннели с постоянной обделкой из набрызгбетона имеют другие проблемы, связанные с плотностью слоев набрызгбетона и качеством их контакта с поверхностью породы.

Design team- Проектная группа
Construction team-Строительная бригада
Communication-Взаимодействие
Human factors-Человеческие факторы



Figure 29: Human and structural factors

Рисунок 29: Человеческие и структурные факторы.

- Независимая проверка проекта
- Просмотр проекта во время проекта
- Контроль качества
- Определение риска
- Компетенция
- Контроль, проверка и реализация во время строительства
- Контроль качества
- Определение риска
- Компетенция
- Авторский надзор
- Обучение

Structural factors-Строительственные факторы

- Последовательность строительства
- Постоянное армирование грунта
- Строительные швы и стыки между слоями
- Физическое и химическое воздействие
- Назначение тоннеля и его срок службы
- Параметры проекта и воздействие времени
- Армирование или фибры

- Способы обеспечения водонепроницаемости
- Сечение
- Свойства материала
- Состав смеси
- Вид ускорителя
- Способы применения
- Выбор типа оборудования и производительность
- Методы твердения
- Улучшение грунта

Данные, представленные на рисунке 29, показывают, что для обеспечения требований к долговечности набрызгбетона необходим комплексный подход к проектированию и строительству. По сути дела, долговечность отделки из набрызгбетона значительно зависит от компетенции проектировщиков и исполнителей вместе взятых, которые должны учесть все особенности строительства для создания надежной отделки тоннеля.

6.2 Нормы и руководства

К сожалению, год за годом нормы производства работ для набрызгбетона часто копируются в новых контрактах без тщательных исследований и определения передовых достижений в области набрызгбетона. Возросший объем применения мокрого способа набрызгбетонирования предоставил возможность пересмотреть заново старые нормы, и теперь появляются новые документы, отражающие современные достижения в технологии набрызгбетона (напр.Европейские Нормы по Набрызгбетону(1996) EFNARC, см.главу 10.5)

6.3 Строительная компетенция

Подрядчик должен быть осведомлен об элементах проектирования, которые являются ключевыми факторами для повышения надежности и безопасности подземных сооружений. Для обеспечения качества бетонной отделки должны быть установлены четкие критерии контроля за выполнением работ на всех стадиях от начала проектирования смеси до момента ее нанесения. Чрезвычайно важно соблюдать связь между проектирующей и строительной бригадами до полного завершения работ.

6.4 Проектирование набрызгбетонной смеси

Основным фактором, устанавливающим долговечность бетона, является его проницаемость, которая влияет на доступ вредных веществ и таким образом изменяет скорость протеканий химических реакций в структуре.

Низкая проницаемость достигается следующими средствами:

- использование материалов хорошего качества для удобоукладываемости набрызгбетона, снижения отскока и обеспечения надлежащего уплотнения (см. рисунок 5, глава 3.5.2). Все заполнители должны быть проверены на щелочную-силикатную реакцию.
- достаточное содержание цемента, обычно от 400 до 500 кг. Содержание цемента не должно быть меньше 350 кг
- низкое водоцементное отношение, ниже 0,45, достигаемое при использовании суперпластификаторов. Современные суперпластификаторы, относящиеся к «гиперпластификаторам» могут обеспечить водоцементное отношение в пределах от 0,35 до 0,4 в то же время обеспечивая осадку конуса не ниже 20см
- применение пуццолановых материалов, таких как микросилика и зола-унос. Микросилика имеет определенное воздействие на распределение гидратирующих продуктов более равномерно в объеме. Это приводит к образованию бетона со сниженной проницаемостью, повышенной сульфатостойкостью и улучшенной морозостойкостью.

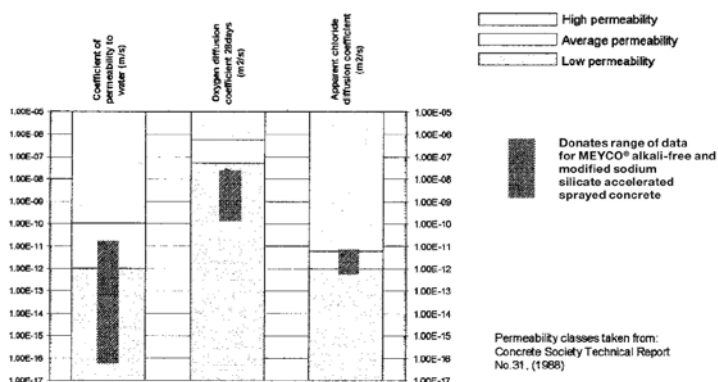


Рисунок 30: Тест на проницаемость и результаты набрызгбетона с использованием бесщелочных ускорителей МВТ и ускорителей модифицированного жидкого стекла.

- контроль образования микротрещин до 0,2 мм армированием фибрами вместо сеток
- контролируемые низкие дозы бесщелочных ускорителей, существенно меньше понижающих конечную прочность в сравнении с обычной смесью, снижающих отскок и пылеобразование, и самое важное - обеспечивающих безопасные условия для работы
- добавки контроля гидратации для предотвращения преждевременной гидратации смеси до ее нанесения на поверхность. Прегидратация может повлечь за собой значительные вредные эффекты на физические свойства набрызгбетона, такие как низкая прочность, плотность и высокая его проницаемость
- Применимые способы твердения (см. главу 4.3)

High permeability-Высокая проницаемость
 average permeability-Средняя проницаемость
 low permeability-Низкая проницаемость

1) Donates range of data for MBT alkali-free and modified sodium silicate accelerated sprayed concrete-
 Предоставляет ряд сведений о набрызгбетоне, где использовались бесщелочные ускорителями MBT и модифицированное жидкое стекло.

2) Permeability cases taken from...-

Категории проницаемости взяты из Технического отчета Организации по бетону; номер 31, (1988г.)

Coefficient of permeability to water-Коэффициент проницаемости в воде (м/с)

Oxygen diffusion coefficient 28 days-Коэффициент диффузии кислорода за 28 дней (м/с)

Apparent chloride diffusion coefficient- Коэффициент кажущейся диффузии хлорида (м²/с)

Серия результатов испытаний на проницаемость, проведенных на строительном участке, представлены в Техническом Отчете Организации по бетону (Соединенное Королевство), номер 31. Испытание на проницаемость бетона на участке (1988г). Испытания позволили выделить 3 категории бетона с высокой, средней и низкой проницаемостью. Результаты испытаний на проницаемость и классификация набрызгбетона представлены на рисунке 30, а также полученные с использованием технологии MBT образцы ясно демонстрируют, что набрызгбетон является долговечным конструктивным материалом.

6.5 Сульфатостойкость набрызгбетона с бесщелочными ускорителями

Сульфатостойкость набрызгбетона с бесщелочными ускорителями проверялась испытаниями SINTEF, в Норвегии; Результаты этих испытаний, приведенные в таблице 11, свидетельствуют о высокой сульфатостойкости.

Таблица 11: Сульфатостойкость набрызгбетона (SINTEF, 1999)

Вид цемента	OPC	OPC	OPC	OPC	SR
Заполнители: Взаимодействие щелочисиликата	взаимодействует	взаимодействует	не взаимодействует	не взаимодействует	слабое взаимодействие
Микро-силика	0%	6%	0%	6%	0% и 6%
Водоцементное отношение	0.45	0.47	0.52	0.48	0.45 и 0.48

Ускоритель и Доза

Модифицированный силикат натрия 5%	умеренная	высокая	-	высокая	высокая
Модифицированный силикат натрия 10%	нет	высокая	-	высокая	высокая
Бесщелочной ускоритель 5%	высокая	высокая	-	высокая	высокая
Бесщелочной ускоритель 10%	умеренная	высокая	-	высокая	высокая

Несульфатостойкий:	более 0,1% увеличения
Умеренная сульфатостойкость:	между 0,05% и 0,1% увеличения
Высокая сульфатостойкость:	меньше 0,05% увеличения

Проведенные испытания позволяют сделать следующие выводы:

- бесщелочные ускорители могут применяться для производства сульфатостойкого набрызгбетона при их дозировании не более 10%
- бесщелочные ускорители действуют с цементом ОРС лучше, чем модифицированные ускорители на основе жидкого стекла
- использование 6% микросилики обеспечивает сульфатостойкость бетона с ОРС, сопоставимую с сульфатостойким цементом (SR). Это имеет важное значение, так как в набрызгбетоне предпочтительнее использовать портландцемент, чем сульфатостойкий цемент из-за важности быстрого схватывания и набора начальной прочности.
- чем ниже водоцементное содержание - тем выше сульфатостойкость. Рекомендуется водоцементное отношение ниже 0,45, которое можно достичь с помощью новых гиперпластификаторов.

6.6 Химическая стабильность новых ускорителей

Исследования микроструктуры бетона, проведенные за последнее время показали, что набрызгбетон, содержащий добавки-ускорители, образует те же минеральные фазы, что и бетон без добавок. Более того, образцы с ускорителями и контрольного бетона проявили сходное микрорастрескивание. Согласно исследованиям можно прийти к выводу, что отсутствия с химической и микроструктурной точек зрения не наблюдается и следовательно наличие добавок не приводит к вредным последствиям для длительной прочности набрызгбетона. Кроме того, петрографические исследования набрызгбетона свидетельствует о том, что раннее термическое микрорастрескивание – временное свойство, устраняемое с началом автогенезного процесса. С помощью проведенных исследований на проницаемость, прочность на сжатие и изгиб не было найдено доказательств того, что раннее микрорастрескивание оказывает вредное воздействие на надежность или долговечность бетона.

6.7 Долговечность набрызгбетона, армированного стальными фибрами

Основное преимущество набрызгбетона, армированного стальными фибрами в сравнении с бетоном, армированным сварными сетками, при эксплуатации в агрессивной среде состоит в том, что он не подвергается действию электрохимической коррозии, приводящей к серьезным повреждениям традиционно армированных тоннельных обделок и является с этой точки зрения более надежным и долговечным. Риск растрескивания бетона из-за коррозии снижается, так как не происходит увеличения объема вследствие коррозионного разрушения фибр или увеличение этого объема несущественно. Более того, дискретно распределенные в бетоне фибры защищены щелочным раствором. Таким образом не существует механизма, распространяющего деятельность коррозии для сооружений, подверженных воздействиям сильно солевых и морозно-оттаивающих условий. Поэтому нет необходимости в нержавеющей стальных фибрах для достижения долговечности конструкции.

Простые стальные волокна, незащищенные со стороны поверхности, будут оставлять следы ржавчины. Для безопасности и из косметических соображений рекомендуется защищать постоянные обделки из набрызгбетона, армированного стальными волокнами, тонким завершающим слоем неармированного набрызгбетона. Он может содержать новые полимерные волокна HPP152 для контроля термического растрескивания.

6.8 Условия применения

Очень часто преимущества хорошо спроектированной смеси, направленные на достижение долговечности сооружения, сводятся на нет из-за неправильно выбранных или не качественно выполненных методов ведения работ (более подробно в главе 10)

6.9 Заключение

- разработка проекта бетонной смеси - один, но не единственный аспект, который следует усовершенствовать для достижения прочности набрызгбетонных обделок. Производство долговечного набрызгбетона существенно зависит от квалификации производителя работ и от оборудования, которое должно соответствовать цели
- проектировщик также играет ключевую роль. Важными момен-

тами в данном случае являются понимание процесса применения набрызгбетона и правильная оценка свойств материала. Секрет достижения долговечности заключается главным образом в правильном конструировании конструкции и использовании по возможности более простых элементов

- мокрый способ набрызга, примененный с новыми, высокопроизводительными, безопасными для окружения добавками и современным оборудованием, служит экономичным инструментом для тоннелестроения в создании постоянных прочных однослойных обделок. Строительный процесс стал автоматизированным, тем самым значительно снизилось влияние человека, что не нравилось заказчикам в прошлом для принятия набрызгбетона в качестве постоянного вида крепи.

- строительные нормы современного набрызгбетона сегодня направлены на проектирование новой смеси с контролируемыми свойствами, обеспечением его прочности путем эффективного выполнения процессов набрызга. Например, Европейские Нормы по Набрызгбетону (1996г.), установленные EFNARC, предоставляя различные современные системы для производства постоянного набрызгбетона.

- в связи с возрастающим объемом применения постоянных обделок из набрызгбетона для их поддержки и продвижения на мировом рынке в последнее время появились новые системы. Эти системы повышают

водонепроницаемость и гарантируют повышенную огнестойкость

- с каждым годом увеличивается объем использования постоянных обделок из набрызгбетона в тоннелях и других подземных и общегражданских сооружениях. Эта тенденция требует того, чтобы проектные и строительные фирмы были более осведомлены в современных достижениях по созданию долговечных и надежных обделок из набрызгбетона.

6.10 Образец С-45

Цемент	450 кг
Микросилика	20 кг
мелкий гравий	0-8 мм
Гиперпластификатор Glenium T 803	2,5-3 кг
Полимерные фибры	7,5-10 кг
водоцементное отношение	0,40
Величина «факела» из сопла	>55 см

Добавка, вводимая у сопла:

MEYCO* SA160/SA161

4-8%

Эта смесь стабилизируется на более чем 3-4 часа (благодаря Glenium T803)

Конечная прочность бетона должна быть выше нормативной прочности. При правильном выборе материалов, строгом дозировании смеси и качественном выполнении набрызга конечная прочность набрызгбетона не может быть ниже проектной марки.

6.11 Возможные последствия от использования различных моделей смеси

Использование сверхтекучих смесей с осадкой конуса, превышающей 25см с одной стороны, а также повышенная доза ускорителей схватывания с другой стороны приводят к снижению конечной прочности бетона и возможной его сегрегации во время ведения работ.

Уменьшение содержания цемента в бетонной смеси (<400 кг) дает ограниченную выгоду, но требуют четкого контроля за дозированием ускорителей и модификаторов твердения, что в результате может снижать производительность работ, а также увеличивать отскок бетона на поверхности.

Передозировка микросиликата (12-15%) приводит к уменьшению подвижности бетонной смеси и трудностям при прокачке смеси. Это приводит к необходимости применения других добавок-суперпластификаторов, увеличивающих подвижность бетонной смеси.

Высокое содержание крупных заполнителей (например на 20% превышающие 4мм) увеличивает потери вследствие отскока.

Заполнители некруглой формы причиняют сильное истирание насосов, шлангов и приводят к большим потерям в результате отскока. Также появляется риск сорбции воды из раствора и «пробок».

Большое количество фибр (длинных фибр) создает проблемы в перекачивании и уплотнении бетонной смеси: вокруг фибр образуются полости, снижаются механические свойства, слабая устойчивость и худшее прилипание к поверхности. В этих случаях необходимо изменять длину фибр и переходить к более коротким.

7 Оборудование, используемое для набрызгбетона

Для подземного строительства типичными являются стесненное пространство производства работ. Поэтому генеральному подрядчику необходим компетентный и надежный партнер, способный к проведению качественных работ в стесненных условиях. Недостаточно просто иметь материалы высокого качества. Только сбалансированным использованием надежного оборудования, высококачественных материалов и компетентного обслуживания можно добиться необходимого качества и эффективности.

Наряду с разработками новых материалов постоянно идет развитие нового прогрессивного оборудования, обеспечивающего эффективное применения новых материалов и легко приспосабливаемого к изменяющимся условиям ведения работ. В результате разработок широкий ряд систем, охватывающих всевозможные работы по набрызгбетонированию, начиная с крупномасштабных подземных комплексов, требующих огромных количеств бетонных смесей для набрызга, заканчивая ремонтными работами с небольшими объемами. Наблюдается присущая всем разработкам в оборудовании тенденция к применению комплексных и автоматизированных систем, которые гарантируют высокую производительность работ и стойкое контролируемое качество, а также более безопасные и благоприятные условия труда для операторов.

7.1 Ручное применение

7.1.1 Оборудование/системы для сухого способа набрызга

В настоящее время роторные машины имеют самое широкое применение.

7.1.1.1 Принцип действия (например, MEYCO* Piccola, MEYCO*GM)

Сухая смесь загружается в загрузочную воронку (1); см. рисунок 31. По мере вращения ротора смесь под собственным весом падает в камеры роторного барабана. Пока наполняются одни камеры, под действием сжатого воздуха сухая смесь выдувается (вы-

тесняется) из других камер и давлением 3-6 бар того же воздуха перекачивается к соплу. У сопла сухая смесь смешивается с водой затворения и другими добавками и наносится на поверхность.

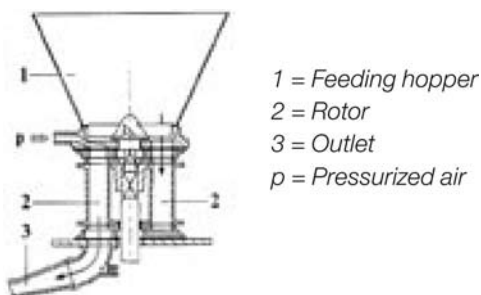


Рисунок 31: Принцип действия роторной машины для сухого распыления.

- 1=Загрузочная воронка
- 2=Ротор
- 3=Выходное отверстие
- p=Сжатый воздух



Рисунок 32: MEYCO® Piccola / MEYCO® GM: Типичные роторные машины для сухого набрызга.

Преимуществами таких машин является простота их исполнения, надежность и легкость их применения на различных строительных объектах. В зависимости от диаметра выходного отверстия, трубы подачи, а также от вида ротора, их производительность может быть от 0,5 м³/ч до 10 м³/ч.

Производительность увеличивается при увеличении объема камеры и скорости вращения барабана. При этом размеры трубопровода следует соответственно увеличивать. Для набрызга можно использовать максимальный диаметр 65мм, тогда как для укладки бетона за опалубку может быть использован диаметр трубопровода 80мм. С увеличением диаметра трубопровода возрастает и расход сжатого воздуха.

Есть и другие факторы, устанавливающие размер трубопровода, такие как форма частиц заполнителей и гранулометрический состав сухой смеси, давление сжатого воздуха, расстояние и высота подачи.



Рисунок 33: Различные виды сопла для сухого способа набрызга

7.1.1.2 Разработки

Современные разработки в области оборудования для сухого способа набрызга направлены на снижение пылеобразования, обеспечение равномерного потока смеси и повышения износостойкости оборудования.

7.1.2 Оборудование/системы для мокрого способа набрызгбетонирования

7.1.2.1 Разработки

Для гарантии равномерного набрызга продолжают разработки и усовершенствования в области создания непульсирующей передачи влажной смеси из насоса к соплу. Такие системы разработаны с MEYCO® Suprema от Meuco® Equipment: кнопочная система с электрическим контролированием подключается к устройству подачи смеси и контролирует пульсацию движения материала, снижая ее до минимума. Пульсация становится едва заметной у

сопла. Система контроля с запрограммированной комплексной памятью (PLC) контролирует и координирует все функции машины. Система PLC позволяет распечатывать данные с целью их контроля. Например легко контролировать дозирование различных добавок, производительность машин. Блок дозирования жидких добавок объединяется с системой управления машины и подсоединен к системе PLC. Это гарантирует четкий и строгий контроль за дозированием компонентов и производительностью набрызга.

Основные и важные свойства:

- система имеет 3 независимые цепи давления масла, каждая из них питается отдельным насосом
- клапан быстрого переключения в форме «S» с особой контрольной системой высокого давления (вспомогательный насос с покрытым аккумулятором)
- для предотвращения блокировок направление подачи поршня - реверсивное. Когда превышает максимальное давление подачи, поршень автоматически реверсируется.
- в гидравлических цилиндрах устройство автоматического действия
- специальная кнопочная система, согласующаяся с контрольной системой

PLC через пропорциональный клапан. Так как кнопочная система с электрическим контролем связана с устройством выпуска, пульсация движения всех материалов доводится до минимума, которая становится едва заметной у сопла.

- система PLC координирует и контролирует все функции машины. Она также позволяет распечатывать данные и проверять: объем дозы добавок, расход смеси. Ошибки в гидравлической или электрической системе указываются на дисплее, причины неисправностей можно устанавливаются с помощью программы «помощь» PLC и изображаются на дисплее.

- система дозирования MEYCO® Dosa TDS для жидких добавок. Это комплексный дозирующий агрегат представляющий собой винтовой насос с фланцованным электрическим мотором (с контролируемой частотой), присоединенным к управлению поршня подачи (бетонной/гидравлической) посредством системы PLC. Это гарантирует возможность регулирования объема дозирования и производительности набрызга .

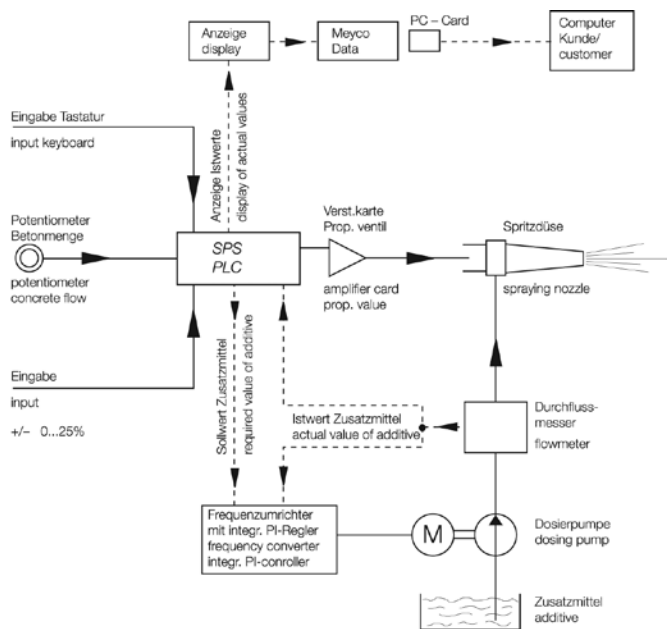


Рисунок 34: Принцип действия системы MEYCO® Dosa TDS (Контроль Общего Дозирования)

Display- Дисплей

input keyboard - клавиатура ввода информации

prop valve- Распределительный клапан

amplifier card-Клапанный кран

concrete flow- расход бетона

spraying nozzle- сопло распыления

input-вводимая информация

flowmeter-расходомер

display of actual values-дисплей реальных величин

dosing pump-насос дозатор

required value of additive-требуемая величина добавки

additive-добавка

Regler controller- контролер Regler

frequency converter-конвертер частоты

actual value of additive-актуальная величина добавки

prop.ventil- распределительный вентиль

Технические данные MEYCO® Suprema

Максимальная теоретическая производительность 2-14 м3/ч или

3-20 м ³ /ч	
Расстояние подачи, горизонтальное	300м
Расстояние подачи, вертикальное	100м
Расход воздуха у сопла	
ручное распыление:	5-7 м ³ /мин давлением
5-6 бар	
автоматизированное распыление:	10-15 м ³ /мин давлением
7 бар	
Размеры машины	Длина=2500 мм Ширина=1520 мм Высота=1950 мм
Высота загрузки	около 1100 мм
Вес, пустой	около 2200 кг
Максимальное давление бетона	75 или 50 бар
Трубный переключатель	150/125мм
Труба подачи	50мм, 65мм или 100мм
Комплексный дозирующий агрегат	Шнековый (винтовой) насос



Рисунок 35: MEYCO® Suprema: непульсирующее распыление, компьютерная контрольная система (PLC) комплексная дозирующая система для автоматического дозирования регулируемого объема набрызга.

MEYCO® Data

Система MEYCO® Data дает возможность обмена данными путем компилирующим устройством в электрическом блоке управления (например: MEYCO® Suprema) в комбинации со внешним устройством для считывания данных. Операционные параметры машины не будут отражаться на дисплее, но слегка могут быть перенесены в компьютер используя технического сорта ПК-карты или

USB memory stick. Общая оценка – включенный в пакете выдачи данных – обеспечивает анализом и воспроизведением записанных данных в разных форматах.

Записанная операционная информация может содержать в себе:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| • Дата | • Номер машины |
| • Время | • Тип ускорителя |
| • Содержание цемента | • Плотность ускорителя |
| • Процентаж ускорителя | • Температура бетона |
| • Время закачивания | • Номер записи |
| • Объем бетона | • Действие |
| • Количество ускорителя | • Смена регистра |
| • Рабочее время | • Туннель в метрах от/к |

На ряду вышеуказанных, 16 неполадок оборудования и инциденты вместе с ассоциированными деталями такие как время и дата записываются автоматический, например:

- Слишком высокое давление масла,
- Низкий уровень масла,
- Требуемое количество дозирования не достигнута,
- Сухой запуск дозирующего насоса, и т.д.

Таким образом, может быть выставлена история работы машины. Это даст возможность полевому менеджменту для правильного анализирования работ торкретирования под определенным временем и будет безценным прибором для контроля качества, предотвращения больших затрат менеджмента, сравнение смены регистра и даже вопросов безопасности.

Оборудования набрызгбетонирования оснащенные с MEYCO® Data это MEYCO® Suprema, MEYCO® Potenza, MEYCO® Cobra, MEYCO® Roadrunner, MEYCO® Logica.



Рисунок 36: MEYCO® Data

7.1.2.2 Комплексные системы для ручного применения

MEYCO® Altera специально разработанный насос для торкретирования, в зонах работ, где требуется компактность и удобное транспортирование. Примером служит MEYCO® Altera, двухпоршневой насос. Производительность такой машины равен 6м³/час который оснащен моно насосом для дозации ускорителя. Общий вес оборудования смонтированного на раме 950кг, также может быть поставлен на рельсовом или пневмоколесном ходу.



Рисунок 37: MEYCO® Altera – двухпоршневой насос

7.2 Механизированный набрызг

7.2.1 Манипуляторы распыления

Манипуляторы распыления или роботы эффективны для применения набрызгбетона в большом количестве, особенно при строительстве тоннелей и других подземных комплексов, а также всех видов шахт и наклонных выработок.

Благодаря механизированному и автоматизированному оборудованию даже большой объем набрызгбетона сухим и мокрым способами может наноситься в неизменно оптимальных условиях и без трудоемкой работы для сопловщика, который может находиться в безопасности и в целом в улучшенных условиях.

Роботы представляют собой:

- подвеску с подвешанным на ней соплом
- стрелу гидравлического манипулятора позволяющего управлять стрелой и соплом
- дистанционное управление
- блок управления
- поворотную консоль (для разных версий установки)

Подвеска позволяет любое возможное или необходимое для на-брызга движение сопла. В наличии имеются подвески длиной 1,2 или 3 м. Подвески присоединяются к манипулятору робота, кото-рый может двигаться в любом направлении и раздвигаться с по-мощью гидравлических цилиндров. Подвеска и манипулятор кон-тролируются портативным дистанционным управлением.

7.2.1.1 Классические манипуляторы распыления раз-ных направлении

MEYCO®Robojet

У машины MEYCO® Robojet есть 16 отдельных индивидуальных функций движения, контролируемых посредством 4 рабочих рычагов. Стандартные операции, как например горизонтальное дви-

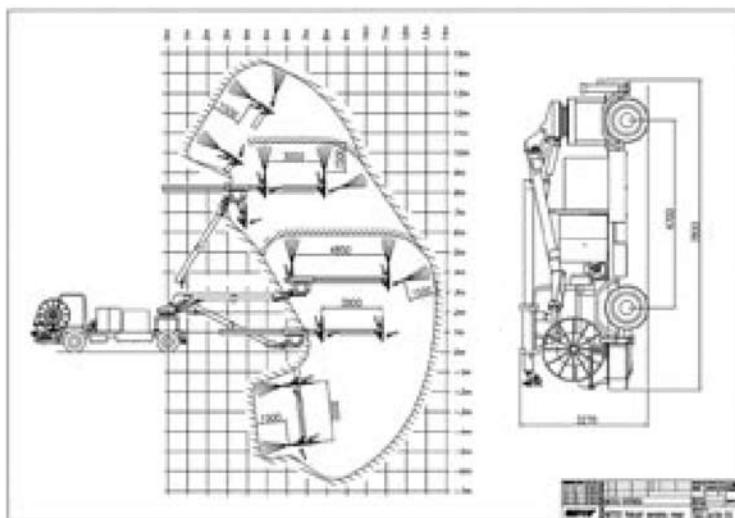


Рисунок 38: Манипулятор распыления MEYCO® Robojet область распыления

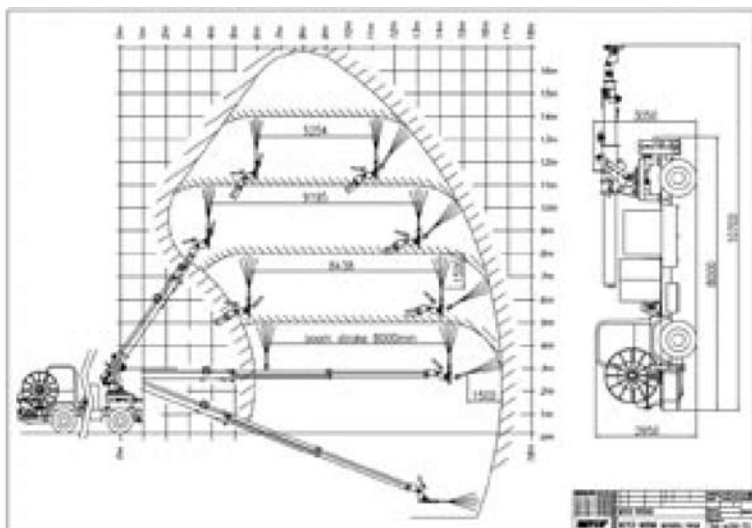


Рисунок 39: MEYCO® Maxima область распыления

жение назад или вперед, вращательные движения сопла могут автоматизироваться.

Сопло приводится в действие 3 отдельными независимыми гидравлическими приводными механизмами, тем самым гарантируя, что сопло всегда находится под идеальным углом к поверхности. Сопло можно повернуть на 360° по часовой стрелке и против часовой стрелки.

MEYCO® Maxima

MEYCO® Maxima это специально разработанный манипулятор который имеет ряд преимуществ таких больших распылительных манипуляторов как MEYCO® Robojet, но также спроектирован чтобы смог легко выдвигаться и собираться в парковочное положение в относительно малых туннелях. На рис.39 показаны возможности области распыления. MEYCO® Maxima доступен в качестве опции для MEYCO® Potenza распылительное мобильное оборудование и как стандартное оборудование для MEYCO® Roadrunner.

MEYCO® Rama

MEYCO® Rama4 + MEYCO® Rama6 это распылительные манипуляторы которые подходят почти на любой вид несущего транспорта или могут быть вмонтированы; они применяются на системе ГПК или вмонтированы на грузовике или шасси на гусеничном ходу. Применяется при торкретировании сухой или мокрой смеси

в туннелях малого поперечного сечения, для защиты склонов или в области перегрузок большого диаметра ГПК. Они выполнены в форме легкой конструкции и варьируются только в том, что каждая из модели имеет разные области распыления, исходящее из вылета стрелы.

Они имеют два стандартных распылительных головок MEYCO® с двумя гидравлическими осцилирующими моторами с нутационным прибором, передающее необходимое движение распылительному соплу и обеспечивающее оптимальное позиционирование сопла. Вокруг вылета стрелы установлены листы защищающие от отскока частиц. MEYCO® Rama4 это стандартный манипулятор постоянно встречающийся на распылительном устройстве MEYCO® Oruga.



Рисунок 40: MEYCO® Rama4 манипулятор на мобильном распылительном оборудовании MEYCO® Oruga в действии при креплении откосов

MEYCO® Minima

MEYCO® Minima в основном применяется в шахтах, и ее кинематика отличается от манипуляторов применяемых в туннелях с большим поперечным сечением. Большое преимущество в том, что она очень компактна при передвижении вокруг ограниченных зон и узких углов прохода. Это возможна из-за выполненных разработок спроектированных движения манипуляторов и удобная работа в обычных рабочих условиях. MEYCO® Minima это стандартный манипулятор встраиваемый в основном на оборудовании набрызг-бетонирования MEYCO® Cobra.



*Рисунок 41: MEYCO® Minima торкретирование
в шахтах Австрии*

7.2.1.2 Распылительные манипуляторы для шахтных стволов



*Рисунок 42: Пример распылительного манипулятора MEYCO®
для шахтных стволов*

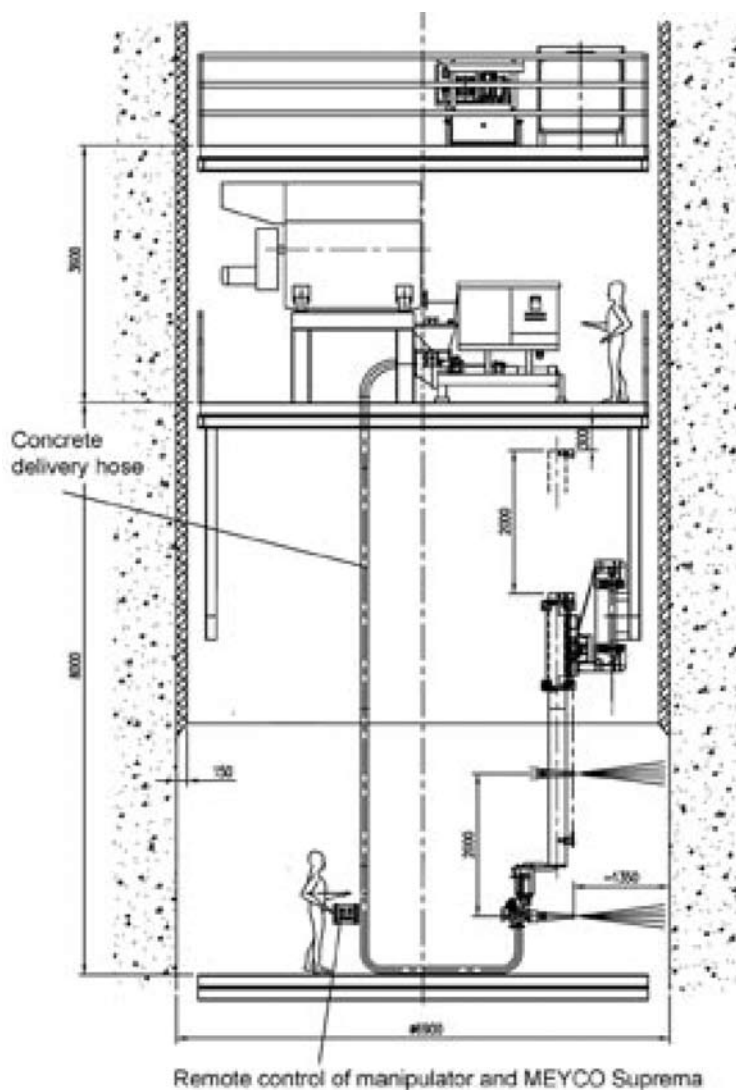


Рисунок 43: Расположение манипулятора распылителя при проходке шахты ствола.

Монтаж манипуляторов для шахтных стволов имеют многое общее с исполнением кольцевых конструкции для манипуляторов ГПК (горнопроходческий комплекс). Большая разница это угол и направление несущего механизма который поднимается и спускается по вертикальному стволу. Как и в случае с исполнением кольцевых конструкции ГПК, манипулятор является неотъемлемой частью системы распыления.

7.2.1.3 Распылительные манипуляторы для строительства колец ГПК

Подвеска автоматически поддерживается параллельно оси тоннеля. Дистанционное управление оснащено кабелем длиной в 20 метров и, следовательно, может приводиться в действие на безопасном расстоянии. Блок управления можно расположить по разному в зависимости от установки. Энергоснабжение производится с модуля электропитания. Можно также использовать дизельный вариант энергоснабжения. MEYCO® Robojet можно установить на различных транспортных средствах, например на ходовой части экскаватора, на грузовике, на тоннелепроходческом комплексе.



Рисунок 44: Решение, разработанное Меусо Equipment: Манипулятор распыления MEYCO® Robojet установленный на тоннелепроходческих комплексах малого диаметра.



Рисунок 45: Решение, разработанное Меусо Equipment: Манипулятор распыления MEYCO® Robojet объединяется с тоннелепроходческим комплексом большого диаметра.

7.2.1.4 Манипуляторы набрызга, контролируемые с помощью компьютерной системы

MEYCO® Robojet Logica - новейшее достижение в манипуляторах набрызга, которое было разработано в сотрудничестве с промышленностью и университетами. У него 8 степеней свободы. Это позволяет оператору управлять по разному струей набрызга от полностью ручного управления к полуавтоматическому и полностью автоматическому в пределах определенных участков тоннеля. В одной из позиций оператор использует рычаг управления 6-D.

Цель манипулятора с компьютерным управлением не полностью автоматизировать всю работу, а облегчить задачу и дать возможность оператору использовать робот как разумный инструмент, позволяя эффективно работать с высоким качеством. Благодаря надлежащему углу и неизменной оптимальной дистанции набрызга достигнуто существенное снижение отскока, а следовательно и затрат в производстве работ.

Новая машина основана на известном во всем мире кинематическом принципе MEYCO® Robojet. Расчет кинематики производит-

ся контрольной системой. Лазерный датчик сканирует и измеряет сечение тоннеля и эта информация используется при автоматическом контроле дистанции и угла струи напызга. Далее, при измерении тоннельного сечения после напызга, система предоставляет информацию о толщине слоя нанесенного на поверхность, что до сих пор было возможным только благодаря бурению кернов и измерениям. Если требуется точная конечная форма тоннельного сечения, контрольная система автоматически определяет и назначает толщину бетона в заданном пространстве.



Рисунок 46: Нанесение пожарозащитного раствора Meuso FIX Fireshield 1350 с MEYCO® Logica15

Рабочие режимы

На ряду с дистанционным управлением и компьютеризированной машины оператор выполняет работу распыления в следующих режимах:

Ручной режим:

Оператор использует оба джойстика для контролирования сопла. Важность заключается в том, что ему необходимо только управлять струей распыляемой смеси и нет необходимости смотреть за гидравликой движения машины. Это приводит максимальному упрощению работы, и необходимость тренировки становится менее значимым.

Полуавтоматический режим:

После установки и стабилизации машины на требуемой по-

зиции, распыляемая область маркируется оператором используя при этом джойстик и красный луч лазера. Лазерный сканер указывает расстояние от поверхности горной выработки. Компьютер фиксирует данные по туннелю в 3-мерной сетке и рассчитывает перпендикулярную позицию сопла, также как позицию правильного расстояния между соплом и стены горной выработки. Далее оператор начинает процесс распыления с помощью одного джойстика и направляет манипулятор на любую выбранную поверхность. В этом режиме машина автоматически поддерживает правильное расстояние от стенки выработки и угол. Отскок частиц из-за неправильного угла и дистанции распыления остается в прошлом.

Автоматический режим:

Автоматический режим возможен при определении дополнительных параметров скорости и шаг между рядами. Оператору необходимо только отметить необходимую зону для распыления. Машина выполняет процесс распыления полностью автоматический, при постоянной скорости, дистанции распыления и углом вдоль поверхности. Оператор только контролирует и подправляет джойстиком в полуавтоматическом режиме. Как только оператор отпускает джойстик, процесс распыления продолжается в автоматическом режиме.



Рисунок 47: Прибор дистанционного управления Meuso® Logica

Дистанционное управление

Эргономично разработанное дистанционное управление имеет два джойстика и дисплей светящимся текстом указывающий рабочие параметры машины. Оно позволяет контролировать самые важные функции манипулятора и бетонного насоса.

Панель оператора и экран на борту

Уровень интуитивного графического оператора сенсорный экран (ГИП) обеспечивает видимыми данными по туннелю и другие неполадки машины. Также в него можно ввести такие данные как дистанция распыления и скорость сопла и параметры бетонного насоса.



Рисунок 48: Графический интерфейс пользователя (ГИП) Meuso® Logica

Измерение толщины слоя

После завершения распыления определенного слоя, оператор возвращается в меню измерения, чтобы установить нового профиля туннеля. При сравнении с предварительным измеренным профилем, распыление торкретбетона может быть достигнута, и определена толщина распыленного слоя набрызгбетона. Области недостаточной толщины слоя распыленного торкретбетона выражаются в другом цвете. Завершить работу можно в полуавтоматическом режиме или для ведения документации и управления качеством, запись выполненной работы может быть сохранена.

«Умный планировщик» и функция заполнения

В зависимости от распыления торкретбетона, жизненно важно распылять материал для крепления снизу вверх, если нет необходимости распылять профиль в одном направлении. Интегрированный «умный планировщик» помогает ускорить процесс распыления обеспечивая постоянного качества покрытия. С помощью команды

оператора компьютер может прервать поток бетона и воздуха и независимо перейти к следующему старту. Выборочно автоматическая выравнивание неполадок и погрешностей возможна по средством компьютера показывающий отсканированную поверхность таких несоответствии и установкой правильной скорости в этих областях процесса распыления.

Симуляция

Тренировка новых операторов может быть выполнена без рисков путем полной

3-х мерной симуляцией полной системы Meusco® Logica, путем применения дистанционного управления и панель оператора, и размеров профиля туннеля где будет выполняться распыление.



Рисунок 49: График имитации работы Meusco® Logica 10

Дистанционный допуск

Дистанционная диагностика и операции через сетевого соединения возможна. Это позволяет поддержку онлайн нахождении неполадок, и даже онлайн обновления системного обеспечения.

Преимущества системы Meusco® Logica

- Уменьшение затрат: меньшее время, труда, материала отскока частиц и операции по тренингу, и путем использования только одной машины при замерах профиля туннеля и распылении.
- Повышенная производительность: постоянная высокая производительность, независимо от навыков оператора, состоянии поверхности выработки и видимости.
- Улучшенные рабочие условия: С упрощенным и эргономичным

дистанционным управлением, оператор фокусирует больше на контроль качества чем на движение манипулятора, благодаря автоматическому распылению.

- Повышенное и постоянное качество: Сопло автоматический под-держивается на правильном расстоянии и под правильном углом, даже в зонах слабой видимости. Толщина слоя торкретбетона и геометрия туннеля постоянно измеряются.

Горная версия

Меусо® Logica 10 имеет такие же характеристики технологии кон-троля как и Меусо® Logica 15, но с очень разными кинематиками. Ее чрезвычайная конструкция и все проектные характеристики осо-бенно приближены к выживанию в условиях типичных для шахт.



Рисунок 50: Меусо® Logica 10 как составная часть распылитель-ного оборудования Меусо® Cobra

7.2.2 Самоходные установки для набрызгбетониро-вания

Новая самоходная установка MEYCO® Potenza была разработана MEYCO® Equipment на основе более чем 15 летнего опыта раз-работки и строительства передвижных распылителей. Она совме-щает легкое управление манипулятором и увеличение производи-тельности работ более чем 30%. Все необходимое оснащение для выполнения работ набрызга в экономических аспектах встроено:

- MEYCO® Robojet манипулятор распыления
- машина мокрогонабрызга MEYCO®
- дозирующая система MEYCO®Dosa TDC для жидких ускорителей

- Шасси, полноприводное управление с стабилизатором
- Кабельная катушка с гидроприводом
- Электрический кабель



Рисунок 51: Самоходная установка набрызгбетонирования MEYCO® Potenza со встроенным манипулятором распыления MEYCO®Robojet

- цистерна для хранения ускорителей
- воздушный компрессор
- гидравлическое управление, включая кабель
- электро-гидравлический модуль питания
- центральная контрольная система (единственная)
- дистанционное управление с кабелем или без него
- водяной очиститель высокого давления, включая бак для воды
- осветительные прожекторы
- центральная смазывающая система
- пневмо-колесная ходовая часть с дизельным мотором



Рисунок 52: MEYCO® Potenza с вытянутым манипулятором распыления MEYCO® Maxima

Другой вид торкретбетонного мобильного оборудования - это MEYCO®Roadrunner и MEYCO®Cobra. Они полностью оснащены, но индивидуально спроектированы для соответствия к условиям работ и рынка назначения.

MEYCO® Roadrunner

MEYCO® Roadrunner характеризует особенный тип, который не требует дополнительной поддержки, работающий независимо от местного обеспечения энергией, и работа по распылению может начаться в течении минуты по прибытию на рабочую зону.



Рисунок 53: MEYCO® Roadrunner с вытянутым манипулятором распыления MEYCO® Maxima

Уникальный дизайн манипулятора распыления MEYCO®Maxima, который является стандартной установкой на MEYCO®Roadrunner, объединяет большой спектр распыления с возможностью упаковываться в транспортное положение не требуя при этом широкий туннель для вращения манипулятора распыления.

MEYCO® Cobra

Составные компоненты MEYCO®Cobra вмонтированы на усиленном шасси предназначенных для работ в шахтных условиях. Артикуляция и все габариты полного транспорта делает ее идеальным для шахт с малым поперечным сечением. Стандартный распылительный манипулятор MEYCO®Minima установленный на MEYCO®Cobra, единственно сконструирован для туннелей с малым профилем. Она очень компактна при транспортном положении и легко вытягивается не требуя дополнительных площадей. Распылительная голова складывается для уменьшения длины оборудования при передвижении по узким профилям. Дополнительными

атрибутами MEYCO® Cobra отапливаемый электрические компоненты, центральное смазывание и компрессор с двойным мягким стартом.



Рисунок 54: MEYCO® Cobra с манипулятором распыления MEYCO®Minima для подземных горных выработок.

MEYCO® Oruga

MEYCO®Oruga это мобильное распылительное оборудование для механизированного распыления торкретбетона. Она оснащена MEYCO®Rama4 манипулятором распыления и электрогидравлическим источником питания, и установлена на шасси на гусеничном ходу. Она подходит как для мокрого так и для сухого распыления смеси.



Рисунок 55: MEYCO®Oruga распылительное оборудование с 80мм высокопроизводительной системой сопла

7.2.3 Преимущества механизированного набрызгбетонирования

- сокращение циклов набрызга благодаря более высокой производительности
- Устранение затрат, связанных с установкой, закреплением и разборкой подмостей, особенно в тоннелях с переменным сечением
- снижение затрат благодаря уменьшению отскока и сокращению трудоемких ручных операций
- повышенное качество нанесенного набрызгбетона благодаря равномерному набрызгу
- улучшение условий труда для сопловщика (оператора), благодаря снижению риска пороодообрушения, сокращению отскока и пыли.

7.3 Системы дозирования

При использовании жидких добавок важно удостовериться, чтобы дозирование было неизменным и одинаковым относительно веса вяжущего вещества. Для достижения оптимального дозирования необходимо использовать соответствующий насос-дозатор (например, MEYCO®Mixa).



Рисунок 56: MEYCO® Mixa 15

7.4 Системы сопла

Системы сопла являются важной частью оборудования для набрызгбетонирования. Системы сопла существенно способствуют обеспечению:

- сниженного отскока
- повышенного сцепления
- усиленного уплотнения

посредством:

- надлежащего смешивания ускорителей/активаторов и воздуха в случае применения мокрого способа набрызга
- надлежащего смешивания ускорителей/активаторов и воды в случае применения способа сухого набрызга

Только с надежной системой сопла (например, от МВТ), приспособленной к виду применения (сухой/мокрый способ, автоматическое/ручное применение) и с использованием ускорителя/активатора можно достичь высокого качества набрызгбетона.

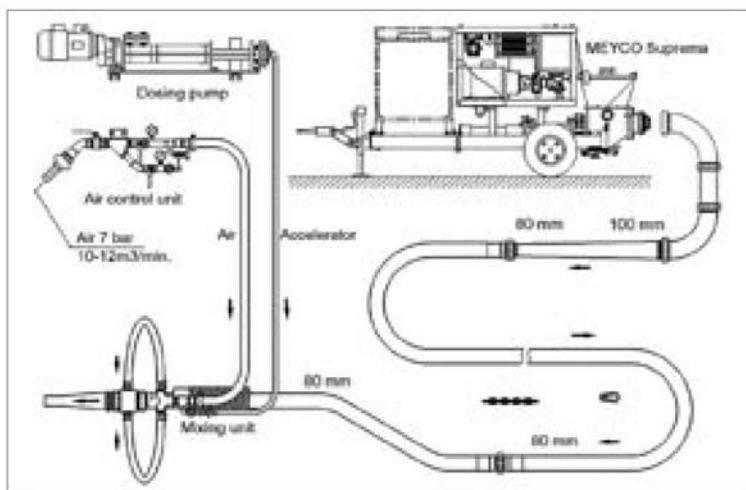


Рисунок 57: Система сопла (80-100мм) для бесщелочных и основанных на модифицированном силикате ускорителей для автоматизированного применения.

dosing pump-насос-дозатор

pressure reducing unit-блок ,снижающий давление

air+accelerator-воздух+ускоритель



Рисунок 58: Типичное сопло для мокрого набрызга; для ручного применения или с манипулятором.

7.5 Системы контроля за протеканием процесса набора бетоном прочности

7.5.1 Проникающая игла

Проникающая игла измеряет прочность набрызгбетона на начальной стадии твердения примерно до 2 часов. Способ контроля с применением иглы заключается во вдавливании специальной иглы с определенной силой до определенной глубины в свежий набрызгбетон. Измеренное сопротивление набрызгбетона вдавливанию указывает на его прочность на сжатие.

Точнее, этот способ позволяет соизмерить соотношение прочностей сжатия и сдвига или устойчивость на локальные пластические деформации. Вид заполнителей в составе набрызгбетона и гранулометрический состав смеси сильно влияют на эти результаты.



Рисунок 59: Игла вдавливания MEYCO®

7.5.2 Испытания на отрыв

Испытание на отрыв определяет протекание процесса набора прочности от 3 до 24 часов. Этот способ измеряет усилие, необходимое для отрыва анкера, закрепленного в набрызгбетоне. Полученное усилие отрыва, а также геометрия поверхности отрыва в виде усеченного конуса, позволяют определить величину касательных напряжений и, следовательно, прочность на сжатие свежееуложенного набрызгбетона.



Рисунок 60: Прибор для измерения начальной прочности MEYCO® Kaindl.

8. Проектирование крепления горных выработок

Главным отличительным свойством набрызгбетона по сравнению с бетоном уложенным за опалубку, является гибкость в возможностях его применения, что особенно ценно при креплении различных сооружений. Однако полные преимущества набрызгбетонирования могут быть оценены при его использовании в качестве постоянного конструктивного элемента. В этой связи важнейшим становится вопрос проектирования крепления подземных и других сооружений. Этому вопросу посвящена настоящая глава.

Проектирование крепления горных выработок - специализированная область, которая фундаментально отличается от проектирования других наземных промышленных и гражданских сооружений. Процесс проектирования крепи горных выработок должен учитывать все особенности горных выработок, важнейшими из которых являются нижеследующие :

- первоначальным «строительным материалом» является горная порода и, следовательно, материал уже обладает определенными показателями (которые известны только частично)
- «строительный материал» постоянно изменяется, иногда на коротких расстояниях
- имеются ограничения в получении полноценной информации при геологических изысканиях
- существуют ограничения в точности параметров горных пород при проведении испытаний
- существуют ограничения и допущения в методах моделирования и математического анализа
- поведение горных выработок зависит от времени и подвергается влиянию перемен от гидрогеологических условий
- несовместимость между временем, необходимым для проверки вычисления и результатов моделирования, и временем, которым мы располагаем: прогресс в процессе разработки породы выше, чем в перечисленных особенностях

Совершенно очевидно, что любое успешное проектирование подземных сооружений должно быть приспособлено к этой ситуации. Система «Проектирую как вы строите» является в своем роде единственным основным правильным подходом.

В реальной жизни многие подземные объекты до сих пор проектируются различными способами. Проектировщики иногда проекти-

руют крепление основываясь на предварительных исследованиях горного массива и традиционном методе, оценивая нагрузку/несущую способность/коэффициент запаса. Это неизбежно приводит к наиболее консервативному случаю, который может быть необходимым только в небольшой части тоннеля.

Аналитические и численные методы расчетов

Методы вычисления являются важной частью проектирования крепления горных выработок. Для того, чтобы подсчитывать нагрузку, определить напряжения, деформации, параметры крепи необходимо максимально правильно установить исходные параметры горных пород, правильно выбрать математическую модель и воспользоваться соответственными расчетными формулами или компьютерными программами. Для этого необходимо:

- произвести отбор проб и определить в необходимом количестве параметры горных пород
- определить показатели, связанные с трещиноватостью
- измерить естественные напряжения пород, часто посредством бурения глубоких скважин
- исследовать гидро-геологические условия
- проанализировать геометрические данные (форму, размеры подземного сооружения и т.д.)
- проанализировать масштабный эффект для характеристик, полученных лабораторным путем
- проанализировать, как будут разрабатываться подземные объекты, определить последовательность разработки
- установить параметры материалов крепи горных выработок.

Аналитические расчеты могут производиться оперативно и хорошо подходят для приблизительных и предварительных оценок. В более сложных ситуациях возможности аналитических методов расчета часто ограничены.

Численное моделирование (например методом конечных элементов) как правило проводится на компьютерах в двухмерной постановке, реже трехмерной. Даже в относительно простых ситуациях требуется несколько дней для подготовки расчетной модели и выполнения расчетов, прежде чем результаты будут готовы. Однако выполненное моделирование может служить основой, и во время непосредственного ведения работ в горной выработке анализ устойчивости на базе повторного моделирования можно провести значительно быстрее.

Оценка эмпирических и расчетных методов.

Эмпирические методы, основанные на многолетнем практическом

опыте, могут использоваться в проектировании крепления горных выработок. Они базируются на классификации горных пород и рекомендациях по типу крепи, применительно к определенной группе породы и параметрам выработки. Некоторые из таких эмпирических методов позволяют оценить особенности горных пород, с которыми можно столкнуться в большинстве типично встречаемых случаях. Метод Q, разработанный Норвежским Геотехническим Институтом (Доктор Ник Бартон и др.), вероятно, наилучший из разработанных методов в этом направлении.

С другой стороны, все перечисленные методы расчетов в целом достаточно длительны, чтобы определять свойства породы и параметры крепи вслед за продвижением тоннеля новыми прогрессивными методами. От момента отбора проб, их тестирования и расчетов до выдачи рекомендаций по креплению тоннеля проходит несколько дней, которые непозволительно терять при современных технологиях тоннелестроения.

В ряде случаев, как например, при строительстве подземных камер гидроэлектростанций (машинные залы, помещения трансформаторов) или при сооружении станций метрополитенов, такие методы расчетов могут быть весьма эффективными и в наибольшей степени соответствовать специфике проблем на строительном объекте.

Главное ограничение всех этих методов остается в том, что во всех расчетах, формулах и численных моделях имеют место неконкретности и аппроксимации. Поэтому не всегда можно рассчитывать на точность результатов и невозможно предсказать точно, где и когда произойдут обрушения или будут иметь место чрезмерные деформации.

Еще одной особенностью является сложная геометрия поверхности выработки при проходке буровзрывным способом. Относительно тонкий слой (50-200мм) набрызгбетона не может выравнять этот контур в расчетное сечение правильной арочной формы. Сложные процессы, протекающие на границе между набрызгбетоном и породой, зависящие от изменения свойств породы и свойств набрызгбетона в процессе гидратации, изменяющееся сцепление набрызгбетона с породой также усложняют все расчеты.

Метод наблюдений.

Метод наблюдений в дейсивительности существует с тех времен, когда человек начал строить подземные сооружения. С самого начала и по сей день этот подход применяется из здравого смысла, а иногда просто по необходимости. Этот метод позволяет быстро

оценивать быстро изменяющиеся геологические условия и приспосабливаться к ним.

Основными элементами метода наблюдений являются следующие:

- крепь горных выработок должна проектироваться с учетом возможных изменений породных условий, - как прогноз крепи. В этой работе могут использоваться известные методы расчетов: от эмпирических до сложных аналитических и численных методов.
- проверка соответствия прогноза реальным условиям должна производиться сразу после разработки породы и установки крепи,
- путем визуального осмотра и мониторинга за напряжениями, деформациями, состоянием крепи, гидростатическим давлением. Корректировка параметров крепи, ее усиление в результате может понадобиться.
- первоначальный прогноз на каждом этапе строительства должен анализироваться заново, необходимо производить обратный анализ предшествующих решений, чтобы максимально приспособлять крепь к существующим условиям.

Преимущества Метода наблюдений очевидны. Горный массив представляет собой крупномасштабную лабораторию, где учитываются все известные и неизвестные особенности поведения массива. Метод предполагает гибкость в выборе типа и параметров крепления в четкой зависимости от поведения горного массива.

В настоящее время метод наблюдений признан как одна из основ подземного строительства во всем мире. Важно понимать, почему этот метод приемлем для подземного строительства и не приемлем для других сооружений из стали и бетона, например мостов и зданий, где проектирование и строительство происходят в соответствии с общепринятыми методами расчетов и системой стандартов и нормативов. Хорошо известный Новоавстрийский Тоннельный Метод (НАТМ) является в наибольшей степени соответствующим методу наблюдений.

8.1 Механизмы активного действия набрызгбетона, нанесенного на горную породу

Даже при применении метода наблюдений в креплении горных выработок, важно понимать почему и как тонкие слои набрызгбетона являются эффективным средством крепления горных выработок. Это также важно для оценки необходимости комбинирования набрызгбетона с другими видами крепления.

Существуют важные специфические свойства процесса применения набрызгбетона, о которых всегда следует помнить:

- набрызг бетона производится перпендикулярно поверхности горной породы с высокой скоростью от 20 до 100 метров в секунду в зависимости от метода и оборудования
- отскок главным образом состоит из крупных частиц. Самый большой отскок наблюдается при нанесении первых порций смеси на участок поверхности.

В последующей стадии набрызга, когда полумягкий бетон покрывает поверхность, отскок снижается. В результате больше мелкого заполнителя попадает прямо на поверхность породы

- нанесенный бетон тут же прессуется последующими слоями
- прилипающий слой набрызгбетона имеет сцепление с породой до 3МПа
- поверхность горной породы полностью изолируется
- мелкие составляющие набрызгбетона попадают и глубоко проникают в пустоты и трещины

В результате вышеупомянутого образуется упрочненный поверхностный слой породы, особенностями и стабилизирующими факторами которого являются:

- набрызгбетон, проникший в пустоты и трещины породы действует как “известковый” клин в кирпичной арочной стенке
- стойкость к динамическим воздействиям означает, что подвижный блок может упасть только в результате среза слоя набрызгбетона
- арочный эффект в действительности работает только локально
- изолирующий эффект предотвращает породу от выветривания и отрицательного воздействия атмосферы
- быстрое применение набрызгбетона способствует сохранению естественных свойств породы
- совместное и комбинированное действие вышеупомянутых механизмов.

Очевидно, что действие тонких набрызгбетонных слоев больше похоже на армирование горной породы, чем на крепление горной выработки. На поверхности породы происходит сложный процесс взаимодействия между поверхностным породным слоем и твердеющим бетоном. Как показывает практический опыт, даже слой набрызгбетона толщиной в 30 мм в некоторых случаях очень эффективен.

8.2 Набрызгбетон на скальных трещиноватых породах

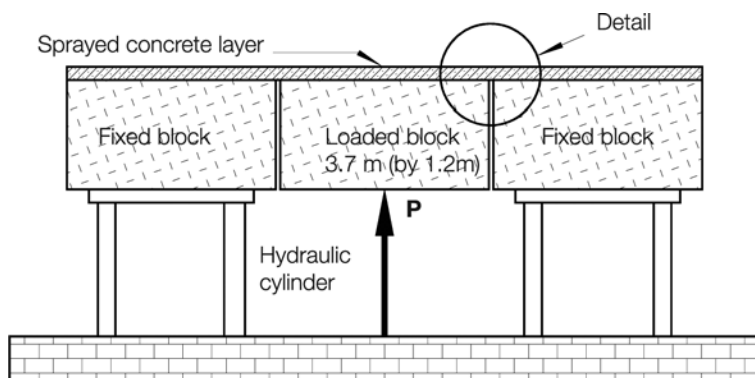


Рисунок 61

shotcrete layer-слой набрызгбетона

fixed block-закрепленный блок

hydraulic cylinder- гидравлический цилиндр

loaded block 3.7m (by 1.2m)-загруженный блок 3.7м(на 1.2м)

detail-деталь

В 70-е годы и в начале 80-х, в Скандинавии и Северной Америке было проведено множество экспериментов на моделях. Представление всех этих результатов - за рамками этой публикации. Однако в качестве примеров можно привести некоторые из полученных результатов.

В Швеции Доктор Джонас Холмгрен использовал экспериментальный стенд, показанный на рисунке 61. Слой набрызгбетона был плоским (без арочного свода), и при его устройстве предпринимались меры, препятствующие его проникновению между блоками. Слой бетона варьировался и фиксировалась нагрузка и деформации этого слоя до его разрушения. Холмгрен смог точно указать на некоторые факты.

При толщине слоя до 30 мм передвигающийся блок просто пробивал слой набрызгбетона. Это неудивительно, принимая во внимание этот факт, что нагрузка на набрызгбетон полностью была связана с прочностью слоя на срез.

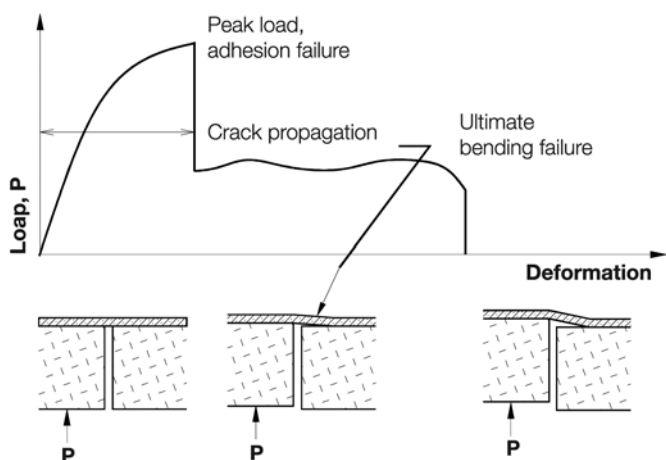


Рисунок 62

peak load-максимальная нагрузка

adhesion failure-адгезионное разрушение

load P- нагрузка P

crack propagation-распространение трещин

ultimate bending failure-полное разрушение на изгиб

deformation-деформация

Набрызгбетон со слоями толщиной более 30мм (часто независимо от толщины) показал, что величина сцепления (адгезия) была решающей. Обычное поведение образца показано на рисунке 62 (см. на «деталь» на рис.61). Для прочной гранитной породы анализ результатов теста показал, что ширина загруженной связанной зоны в момент достижения максимальной нагрузки достигла около 30мм. Для нормальной прочности сцепления 1,0 МПа может это может быть использовано при расчетах.

Объемный вес горной породы может быть $\gamma = 2700 \text{ N/m}^3$

Выбранный блок породы имеет длину λ метров.

Величина сцепления, как указано выше, $\tau = 1,0 \text{ МПа} = 10 \text{ N/m}^2$

Ширина зоны сцепления при максимальном грузе, $\beta = 0,03 \text{ м}$ (по расчетам Холмгрена)

Нагрузка обеспечивается движением блока весом, $W = \gamma \lambda^3$

Сопротивление движению блока создается зоной сцепления с 4 краев блока,

$$F = 4 \lambda \beta \tau$$

Максимальная нагрузка приравнивается к сопротивлению материала и посредством ее определения может быть вычислен теоретический объем блока, который может быть удержан за счет сцепления.

FORMULA

Результатами экспериментов установлено, что блок более 9 м³ с весом в 25 тонн может удерживаться слоем набрызгбетона. При этом действия локального арочного эффекта, проникающего эффекта и трения между породными блоками не учтаны. Такое вычисление очевидно является только примером для определения порядка порядка величин, которые не могут быть приняты за явление, что слой 35мм набрызгбетона достаточен для безопасного поддержания такого блока.

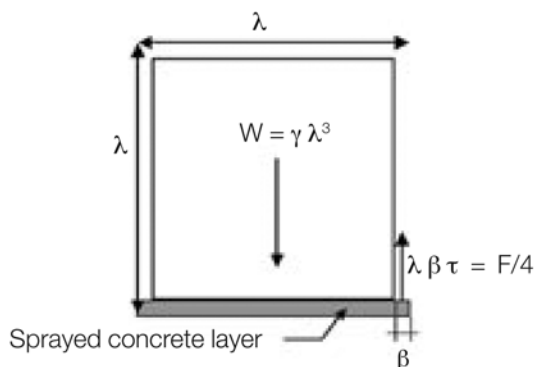


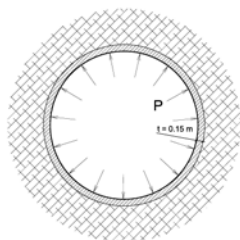
Рисунок 63

8.3 Набрызгбетон для слабых раздробленных пород

Во многих случаях невозможно предусмотреть и точно оценить все одиночные блоки и породные клинья, защемленные на месте тонким слоем набрызгбетона. Когда проходка выполняется в раздробленных слабых породах, опыт показывает, что даже тонкие слои набрызгбетона дают временный упрочняющий эффект. В таких ситуациях теории блоков и клиньев как механизмов крепления не применимы. Немного сложнее проиллюстрировать, как и почему происходит упрочнение породы в таких условиях.

Самая очевидная причина - это краткосрочный эффект в непосредственном поддержании существующей стабильности породного массива. Набрызгбетон является чем-то вроде оболочки на поверхности горной породы, предотвращающей или замедляющей ее первоначальные деформации внутрь выработки. Смещение породы внутрь выработки (конвергенция) в целом происходит равномерно, без локальных ступенчатых деформаций. По мере движения породы внутрь длина контура уменьшается, что увеличивает сжатие и трение между несвязанными частями породы. Таким образом, набрызгбетон помогает горной породе себя же поддерживать. И в данном случае имеет место эффект армирования породы, а не удержание груза. Для протекания этого процесса набрызгбетон должен обладать подходящей прочностью на сжатие и хорошим сцеплением с поверхностью породы.

Если отношение между давлением породы и ее прочностью не компенсируется тонким слоем набрызгбетона, то для ее поддержания может понадобиться дополнительный армированный слой набрызгбетона. Пример тоннеля пройденного тоннелепроходческим комплексом с полной круговой обделкой набрызгбетона показан на рисунке 64. В этом случае эффект арки может быть учтен, а величина сцепления не имеет большого значения.



Sprayed concrete compr. strength	$\sigma_c = 35 \text{ MPa}$
Thickness of sprayed concrete	$t_c = 0.15 \text{ m}$
Tunnel radius	$R_i = 2.0 \text{ m}$
Radially distributed load	$P = ?$

Maximum support pressure:

$$P = \frac{1}{2} \sigma_c \left[1 - \frac{(R_i - t_c)^2}{R_1^2} \right]$$

$$= 2.53 \text{ MPa} = 253 \text{ t/m}^2$$

Рисунок 64

shotcrete compressive strength-прочность на сжатие набрызгбетона
 =35 MPa
 thickness of shotcrete-толщина набрызгбетона=0,15 m
 tunnel radius-радиус тоннеля R=2,0 m
 radially distributed load-радиально распределенная нагрузка
 maximum support pressure- максимальная несущая способность
 =2,53 Mpa = 253 т/м2

8.4 Основы механики горных пород

Проходка тоннеля вызывает изменения напряженно-деформированного состояния горного массива. Если напряжения в массиве достаточно велики и/или горная порода достаточно слабая, окружающие выработку породы будут медленно перемещаться в свободное пространство (в дополнение к небольшому эффекту релаксации). Эта радиальная деформация (конвергенция) может контролироваться и прекращаться посредством крепления породы или она может продолжаться до тех пор, пока не произойдет обрушение породы.

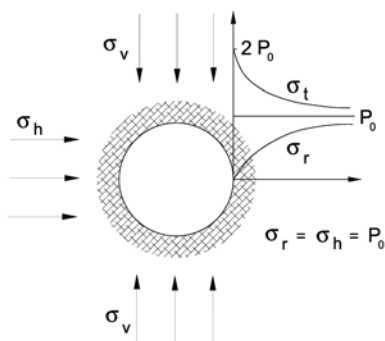


Рисунок 65

Рисунок 65 показывает тоннель круглой формы в поле напряжений, где $\sigma_h = \sigma_v = P_0$. Радиальные напряжения σ_r и тангенциальные напряжения σ_t до выемки породы также показаны на рисунке. Порода рассматривается как упругая среда.

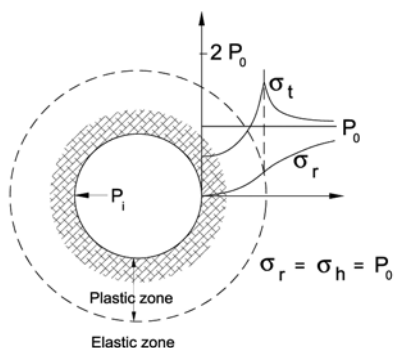


Рисунок 66

plastic zone-зона пластических деформаций
 elastic zone-зона упругих деформаций

В короткое время после выемки породы ситуация с напряжениями в массиве меняется, и если порода достаточно слабая, зона пластических деформаций резко увеличивается как показано на рисунке 66. Радиальные деформации в результате возрастают, увеличивая сжимающие напряжения в окружающем породном массиве. В этом упрощенном случае пластическая зона - круговая и концентрическая по отношению к тоннелю. При использовании какого-либо крепления, появляются определенные усилия в элементах крепи.

Величина деформаций и размеры пластической зоны зависят от внутреннего трения и других прочностных параметров горной породы. Величины напряжений в массиве также играют важную роль.

При проектировании крепления горных выработок необходимо ограничивать деформации массива, и в этой связи построение графиков реакции грунта и крепления полезны. Это другой способ иллюстрации процессов происходящих в породе в отличие от тех, что показаны на рисунках 65 и 66. Кривая реакции грунта показана на рисунке 67. Это - идеализированная кривая зависимости нагрузки и деформации, описывающая радиальную деформацию в зависимости от давления на крепь. Кривая реакции грунта выражает в данном пункте необходимое усилие в крепи для балансирования нагрузки и прекращения дальнейшей деформации. Линия номер 3 на рисунке 67 показывает случай, где порода перегружена и пластическая зона развивается.

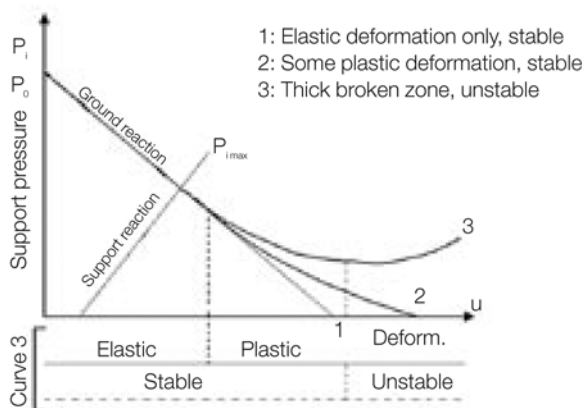


Рисунок 67

1:elastic deformation only, stable- только упругие деформации, система стабильна
2:some plastic deformation,stable- частичная пластическая деформация, система стабильна
3:thick broken zone, unstable - зона разрушающих деформаций, система в неустойчивом состоянии

curve 3 - кривая 3
support pressure- усилие в крепи
elastic- упругая
stable-стабильная
plastic- пластическая
unstable-нестабильная
ground reaction-реакция грунта
support reaction-реакция крепления
deform-деформация
P max-P максимальное

В упругой зоне нагрузка уменьшается, если деформация допускается. В условиях низких напряжений прямая упругая линия могла бы продолжиться до нуля, как показано прерывистой линией номер 1. В этой ситуации нет необходимости в креплении.

При более высоких напряжениях небольшая пластическая зона развивается, как показано прерывистой линией номер 2. Если напряжения высокие, то имеет место реакция породы, показанная непрерывной линией номер 3. Причиной увеличения нагрузки является развитие зоны пластических деформаций и увеличения размеров и веса зоны нарушенных пород. Это относится прежде всего к своду тоннеля.

Уровень и параметры крепи будут изменяться по мере деформации породы в соответствии с кривой реакции породы. На рисунке 67 показано, что крепь установлена после того, как начальные деформации уже произошли. Также указаны максимальная нагрузка и величины деформации крепления. Точка пересечения между кривыми реакции породы и крепления определяет конечную нагрузку на крепь и общую деформацию массива пород.

Диаграмма демонстрирует комбинированный эффект и взаимодействие самой породы и установленного крепления. Важно, чтобы крепление устанавливалось в надлежащее время и имело точно определенную жесткость.

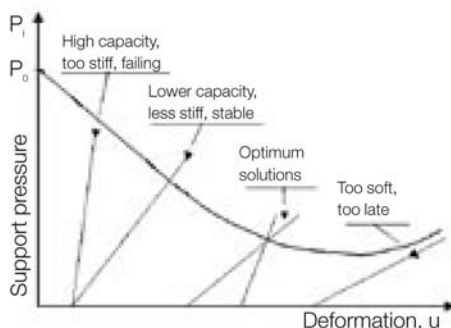


Рисунок 68

support pressure- давление крепления

deformation-деформация

high capacity,too stiff,failing – высокая несущая способность, слишком жесткая крепь

lower capacity,less stiff,stable – меньшая несущая способность, менее жесткая крепь

optimum solutions-оптимальное решение

too soft/too late-слишком податливая, слишком поздно установлена

Рисунок 68 показывает некоторые свойства крепи, иллюстрирующие принципы ее работы. Сильное и жесткое крепление может быть перегружено, тогда как достаточно более податливой крепи. Жесткое крепление тоже может действовать эффективно, если оно устанавливается на более позднем этапе. Следует сосредоточиться на оптимизации крепления, т.е. надо позволить горной породе максимально реализовать свои собственные ресурсы несущей способности.

8.5 Некоторые пункты по НАТМ

НАТМ можно классифицировать как Метод наблюдений. Это становится очевидным по практическим действиям, которые обычно производятся при применении НАТМ:

- сбор геологических данных, данных о механике горных пород с обработкой этого материала в сочетании с параметрами выработки и т.д. Обработка означает прогнозирование нагрузок и деформаций для ряда случаев качества горной породы, включая размеры тоннеля и его расположение в массиве. Любой способ расчетов

может быть использован при прогнозировании

- предварительный план крепления производится с учетом выше-названного этапа работ. Толщина набрызгбетона, количество, длина и несущая способность анкеров, вид и шаг арокочного крепления и т.д. - все это является частью плана. Прогноз скорости развития деформаций и их величин для разных ситуаций - важная информация в определении последовательности разработки выработки и установки крепи
- проходка тоннеля выполняется по предварительному плану с необходимыми корректировками, соответствующими новым свойствам пород
- контрольно-измерительная аппаратура устанавливается в тоннеле с необходимыми интервалами. КИА может включать экстензометры, реперы для измерения конвергенции, датчики нагрузки в обделке, датчики нагрузки в анкерах и др. Все изменения фиксируются и учитываются в последующих расчетах
- решение о параметрах окончательной крепи принимается после наблюдения за тоннелем в течение достаточного времени. Благодаря этому, в зависимости от требований и философии проекта в некоторых случаях можно ограничиться имеющимся креплением, а в некоторых случаях в полном объеме выполнить бетонную обделку.

Философия NATM позволяет контролируемыми деформации, так чтобы система крепления воспринимала нагрузку настолько малую, насколько это позволительно. Это обычно приводит к применению набрызгбетона в качестве первичной крепи. Обычная толщина может изменяться в пределах от 50 мм до 300 мм. Нормальным является армирование набрызгбетона (сварными сетками или стальными фибрами) и анкерами. В слабых породах и в тоннелях сечением более 50 кв.м. часто устанавливаются легкие стальные арки или решетчатые фермы.

Очень важным элементом в применении NATM является замыкание крепи по всему контуру. Завершенное анкеро-набрызгбетонное кольцо намного более жесткое, чем аналогичная конструкция подковообразной формы. Несущая способность кольца тоже больше. Это относится ко всем видам арокочной крепи. Очень важен расчет времени замыкания такого кольца относительно скорости и величины деформации.

Обсуждение механики и принципов набрызгбетона в креплении горных выработок (Секции 8.1 - 8.5) является только ограниченной иллюстрацией весьма обширной и сложной темы. Независимо от того, какой метод (Q-метод, NATM, RMR и т.д.) проектировщик использует для избранного ряда принципов и процедур, мы можем

только рекомендовать использование общих принципов Метода наблюдений.

В городских условиях тоннели часто строятся на небольших глубинах, что может иметь серьезные последствия в случае провала. Поэтому может быть необходимым сместить фокус в направлении решений по виду крепи, принимаемых в меньшей степени от возможностей грунтового массива, или совсем не акцентируя на передаче части нагрузки на грунтовый массив. Во многих крупных городах геологические условия известны заранее, и чаще всего это какие-нибудь слабые несвязные грунты

8.6 Важные свойства набрызгбетона в креплении горных выработок

Относительная значимость различных параметров материала для набрызгбетона зависит от характера требований к обеспечению устойчивости. Тонкие слои, нанесенные на прочную породу, больше предотвращают ослабление отдельных блоков или клиньев, и более важным здесь является адгезия. Но с другой стороны, прочность на сжатие является основным фактором, если создавать замкнутую крепь в слабых пластичных грунтах. В данной ситуации адгезия не играет никакой роли.

Прочность на сжатие может рассматриваться как косвенный показатель в оценке долговечности. Бетон должен быть достаточно долговечным в условиях среды эксплуатации тоннеля. В этом отношении может быть разница между автодорожным тоннелем с интенсивным движением и гидротехническим тоннелем. Согласно государственной стандартной процедуре тестирования в большинстве случаев прочность набрызгбетон должна быть не менее 35 МПа. В норвежских подводных тоннелях в настоящее время это требование достигает 45 МПа.

Сцепление с поверхностью породы является важным фактором. Проблема состоит в том, что его трудно измерить точно, и оно сильно изменяется в пределах небольших расстояний. Очень часто требуемая адгезия оговаривается в контракте неохотно, потому что контрольные результаты могут создать непредвиденные сложности. Мы считаем, что главным образом следует сосредоточиться на прочности на сжатие, технологии применения и предварительной очистке поверхности. Таким образом можно добиться наилучшей возможной адгезии, которую позволяет иметь поверхность.

Прочность на растяжение набрызгбетона не так важна. В любом случае, на основании нее не могут приниматься проектные решения, потому что всегда существует возможность возникновения трещин в набрызгбетоне в критических сечениях. То же самое можно сказать о прочности набрызгбетона на изгиб.

Важно, чтобы необходимая прочность на сжатие была достигнута составом смеси, дающей минимальную усадку.

Для этого существует 2 причины:

- слабая усадка увеличивает адгезию
- слабая усадка снижает растрескивание и увеличивает долговечность

Для того, чтобы добиться слабой усадки, содержание тонких частиц, цемента должно быть низким, водоцементное отношение (как правило меньше 0,45) также должно быть низким, нужно точно соблюдать технологию производства работ (хорошего уплотнения и проведения набрызга под правильными углами). Процесс твердения должен сопровождаться уходом за бетоном: смачиванием поверхности водой или использованием соответствующих добавок (как например, MEYCO@TCC 735).

Толщина набрызгбетонного слоя - вопрос проектирования. Подрядчику необходимо наносить бетон так, чтобы как можно лучше отвечать всем проектным требованиям. Эта существенная проблема возникает особенно в том случае, если толщина слоя велика – 200 мм и больше или при нанесении всей толщины на определенную площадь в процессе одной операции. В таких обстоятельствах по стенам обычно толщина больше, чем следует, а по свод наоборот. С точки зрения стабильности это противоречит желаемым условиям.

В результате вышеуказанного - важным фактором в применении набрызгбетона является скорость набора прочности. Надежность и экономические показатели улучшаются, если скорость набора прочности высокая с первых минут и часов. Высокая начальная прочность возможна при использовании ускорителей. Максимальная экономия достигается путем увеличения толщины слоя нанесенного за один прием.

8.7 Армирование

Традиционным армированием в набрызгбетоне являются стальные сварные сетки (как правило от 3 до 6 кг/м² и с размерами ячейки от 100 до 150 мм). Они также называются сварной проволочной сеткой. Этот продукт никогда не следует заменять сетками, кото-

рые используются для заборов - цепочные сетки (Рабица). В большинстве случаев толщина проволоки в цепочных сетках 2-3мм, а размер ячейки – 50 мм. Такие сетки не должны употребляться в набрызгбетоне из-за малой величины ячеек, «пушистой» структуры, что приводит к высокому отскоку, накоплению материала на сетке и пустотам за сеткой.



Рисунок 69

Тоннели Shing Mun, Гонконг
Контрактор: Gammon, Dragages, Skanska

drilling-бурение
charging/blasting-заряжание и взрывание
Shotcrete 1st layer-набрызгбетон, первый слой
mucking out-уборка породы
installation WWF-установка сварной сетки
Shotcrete 2nd layer-набрызгбетон, второй слой
50m2 tunnel- тоннель 50 м2
one cycle- цикл
and last layer- и последний слой
cumulative hours-общие часы

Установка сварной сетки производится только вручную и является весьма трудоемкой операцией не позволяющей повысить ее эффективность. Поэтому затраты на армирование постоянно возрастают, так как производительность труда здесь – постоянная величина. Стоимость монтажа сварной сетки за 1 м2 - в пределах 20-30 Швейцарских франков. Значительное возрастание интенсивности

тоннельных работ при переходе от сварной сетки к набрызгбетону армированному стальными фибрами(SFRS) показано на рисунке 69.

Важно осознавать цель армирования в набрызгбетоне. В креплении горных выработок всегда есть возможность неожиданных нагрузок и деформаций. Надежность достигается при максимально возможной величине необходимой энергии для разрушения в набрызгбетонном слое. Величина необходимой энергии для разрушения (прочность) представлена на участке под кривой деформации груза, при тестировании балок при изменяющихся нагрузках, см. рисунок 70.

Современные методики испытаний, такие как тест EFNARC, основаны на тестировании панелей с набрызгбетоном.

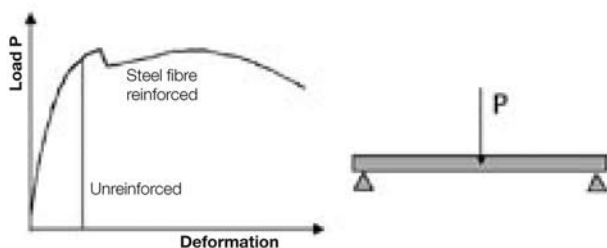


Рисунок 70.

load P- нагрузка P

deformation-деформация

steel fibre reinforced-армированный стальными фибрами

unreinforced-неармированный

8.8 Методы крепления тоннелей

Набрызгбетон традиционно считался временным креплением во многих странах. В результате возрастающих требований к экономической стороне проектов, интерес к однослойным тоннельным обделкам, основанным на набрызгбетоне, значительно возрос за последние годы. Мокрый способ набрызга, обеспечивающий высокую производительность, при необходимости в сочетании со стальными фибрами, стал первым выбором в этом отношении.

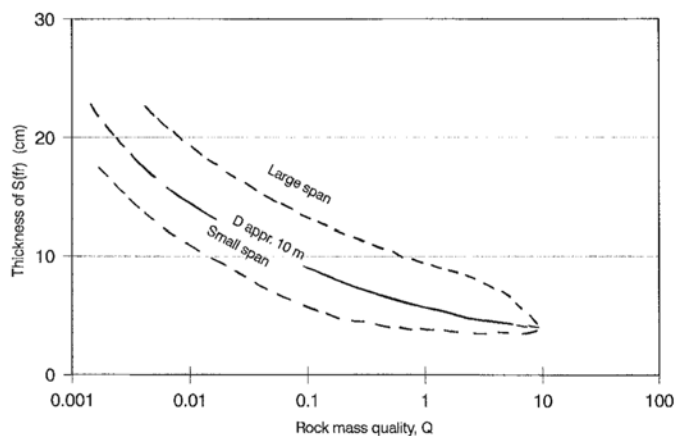


Рисунок 71

thickness of S(fr) (cm)- толщина армированного набрызгбетона (см)

rock mass quality, Q-показатель качества породного массива, Q

large span- большой пролет

D appr. 10m- Диаметр около 10м.

small span-небольшой пролет

Наиболее широко применяемые комбинации крепи: анкера (иногда со стальными подхватками), набрызгбетон (обычно армированный стальными фибрами) и монолитный бетон, укладываемый за стальную опалубку.

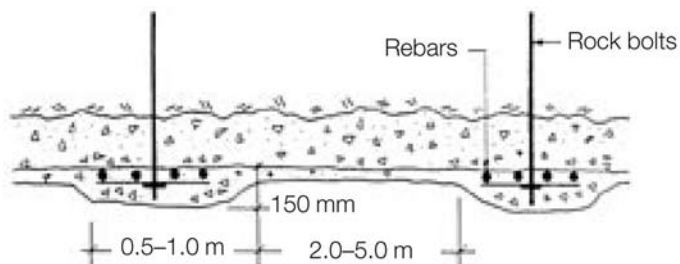


Рисунок 72: Крепление арками и набрызгбетоном, армированным фибрами

rebар-арматурная сталь
 rock bolts-анкеры
 1.0 m-1.0m
 150 mm.-150 мм.

	Расстояние между анкерами			
	Q=0.1	Q=1.0	Q=10	Q=30
Участки без набрызгбетона	1.2м	1.4м	2.0м	3.4м
Участки с набрызгбетоном	1.3м	1.6м	3.0м	4-5м

В последние годы становится все более обычным в очень плохих породных условиях заменять традиционный монолитный бетон набрызгбетоном, армированным стальными фибрами в сочетании с анкерами и поясами из арматуры, см. рисунок 72. Это более подходящее решение, чем заранее изготовленные решетчатые фермы.

9. Постоянные набрызгбетонные обделки в тоннелях

9.1 Разработка постоянных набрызгбетонных обделок

Традиционно при строительстве тоннелей набрызгбетон рассматривался как временная крепь для стабилизации выработки после разработки породы.

После полной стабилизации и окончания проходки устанавливалась постоянная бетонная обделка для обеспечения долговременной прочности и водонепроницаемости. Между набрызгбетоном и постоянной бетонной обделкой располагались специальные водонепроницаемые мембраны. Это так называемый двухслойный метод. С 1994г. технология набрызгбетона разительно улучшилась в части разработки устойчивых добавок и способов применения, особенно мокрым способом, для достижения долговечного бетона высокой прочности.

В 1996г. проекты Продление Юбилейной линии и Скоростной экспресс в Хитроу строили с использованием набрызгбетона в качестве постоянной обделки.

Набрызгбетон, армированный стальными фибрами, был применен взамен традиционного монолитного бетона. При этом были снижены затраты и

значительно сокращено время строительства, особенно в местах со сложной геометрией сечения.

Современная технология набрызгбетонирования дает возможность тоннельной индустрии перейти к намного более экономической системе тоннельной обделки в виде так называемой однослойной постоянной обделки. Такое решение позволяет получить прочную водонепроницаемую обделку, поверхность которой может быть подобно поверхности обычного монолитного бетона.

Сущность метода SPTL (однослойной тоннельной обделки), как описывается в этой главе, заключается в поддержании философии проектирования временной набрызгбетонной крепи, но повышении возможностей применяемых материалов и контроле строительства. Благодаря этому первичную обделку из набрызгбетона SPTL можно считать прочным долговечным элементом постоянной обделки, который будет удовлетворять структурным требованиям и во время строительства, и на протяжении всего периода эксплуатации объекта. Это может быть представлено как

единый слой или, при необходимости, действующий совместно с дополнительным слоем набрызгбетона, наносимым позже в процессе строительства.

9.2 Экономическая эффективность однослойных тоннельных обделок

Однослойные тоннельные обделки могут быть значительно более экономичными, чем стандартная двухслойная обделка, если не считать первичную крепь только «временным креплением» и снизить объем разработки, а также объем материала для постоянной обделки, что в свою очередь способствует экономии времени на строительство.

Однослойный метод SPTL может уменьшить затраты на 20-40% по сравнению с двухслойной обделкой в зависимости от поперечного сечения тоннеля и его длины, а также от геологических условий. Если рассматривать затраты при строительстве тоннеля с применением SPTL - метода двухслойного покрытия, то существует значительная разница в зависимости от выбора второго слоя, будет это набрызгбетон или обычный монолитный бетон. Разница в цене определяется высокой начальной стоимостью стальной опалубки для устройства второго слоя из монолитного бетона в сравнении с безопалубочным вариантом устройства второго слоя из набрызгбетона.

Дальнейшую экономию можно произвести с помощью Метода наблюдений, будучи уверенным в способе SPTL и понимая взаимодействие породы и построения, особенно со сложными материалами, как например со стальным армированием. Кроме того, повышенные возможности современных добавок для набрызгбетона и современное оборудование уменьшат расходы строительных материалов и время на осуществление проекта.

9.3 Выбор SPTL.

Два метода могут быть рассмотрены как методы SPTL. Первый метод однослойного набрызгбетона с применением его для тоннелей небольшого диаметра или тоннелей, проходимых в прочных устойчивых породах.

Второй метод представляет собой двухслойный набрызгбетон как это показано на рисунке 73, где первый слой набрызгбетона на-

носится для достижения кратковременной устойчивости породы, тогда как второй слой (работающий совместно с первым) усиливает прочность и водонепроницаемость. Этот способ применим для тоннелей большого диаметра, сооружаемых в трещиноватых водонасыщенных грунтах. Оба метода существенно сокращают потребность в арматурной стали, производится оптимизация тоннельного профиля и толщины отделки. Во всех случаях следует делать ударение на осуществимость, где простота - ключ к успеху, особенно с методом, зависящим от производительности строительной бригады. На рисунке 73 проиллюстрирован двухслойный метод SPTL и советуется, на чем сконцентрировать проектирование для каждого слоя. Важно обратить внимание на расчет времени нанесения второго слоя.

Это осуществляется сразу после устройства первого слоя. В некоторых случаях более благоразумно завершить сооружение первого слоя на протяжении всей длины тоннеля, прежде чем нанести второй слой.

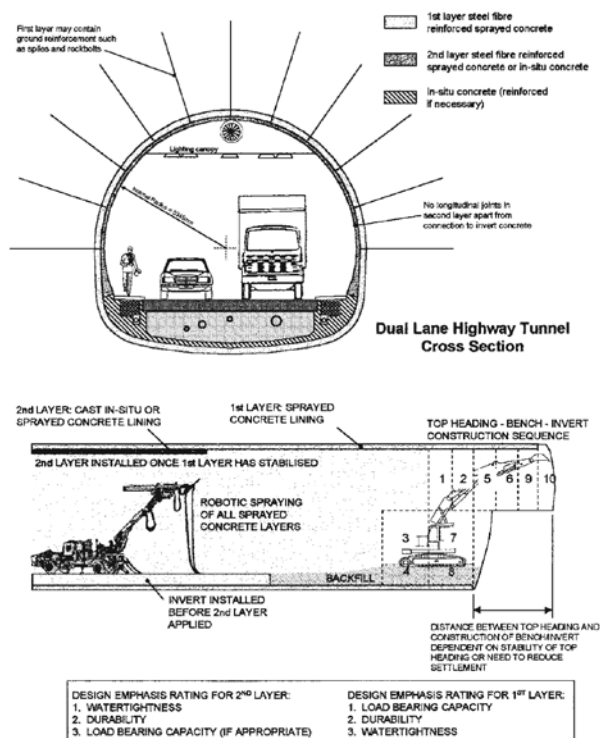


Рисунок 73: Двухслойный метод SPTL-продольный разрез тоннеля и поперечное сечение

First layer may contain...-Первый слой может включать элементы армирования породы, например анкера

1st layer steel fibre reinforced spr.concrete- 1-слой: Набрызгбетон, армированный стальными фибрами

2nd layer steel fibre...- 2-слой:Набрызгбетон,армированный стальными фибрами или монолитный бетон

In-situ concrete(reinforced if necessary)-Монолитный бетон (при необходимости армированный)

No longitudinal joints in second...-Нет продольных соединений во 2-слое, не считая соединения с бетоном обратного свода

Dual Lane Highway Tunnel Cross Section- поперечное сечение двухполосного автодорожного тоннеля

2nd layer:cast in-situ or spr.concrete lining-2-слой: набрызгбетонная обделка или монолитный бетон

1st layer:spr.concrete lining-1-слой: набрызгбетонная обделка

Top heading-bench-invert construction sequence- Строительная последовательность :Передовой верхний забой-уступ-обратный свод

2nd layer installed once 1st layer has established-2-слой устанавливается после нанесения первого

Robotic spraying of all spr.concrete layers-Автоматический набрызг всех слоев набрызгбетона

Backfill-Обратная засыпка

Invert installed before 2nd layer applied-Обратный свод устраивается перед нанесением 2-слоя

Distance between top heading...- Расстояние между передовым верхним забоем и построением уступ/обратного свода зависит от устойчивости передового забоя передовой выработки или от необходимости снижения осадок грунта

Design emphasis rating for 2nd layer...-Для второго слоя сконцентрировать проектирование на:

- 1.Водонепроницаемости
- 2.Износостойкости.
- 3.Работоспособности

Design emphasis rating for 1st layer...- Для 1-слоя сконцентрировать проектирование на:

- 1.Способности выдержать нагрузку
2. Износостойкости
- 3.Водонепроницаемости

9.4 Сечение тоннеля

Для повышения трещиностойкости обделки ее следует проектировать гладкой и округленной без острых углов. Это позволяет избежать высоких напряжений в бетоне и способствует тем самым большей несущей способности обделки. Крайне важна роль породного профиля тоннеля в обеспечении средств уменьшения негативного действия изгибающих моментов, в этом смысле наиболее выгодным является круговое сечение тоннеля. Изгибающие моменты, имеющие место в плоских сечениях можно воспринимать использованием стального армирования, устанавливаемого в обратном своде монолитного бетона.

9.5 Армирование крепи

9.5.1 Арматура и сварные сетки

Из практического опыта известно, что максимальное проникновение грунтовой воды в тоннель происходит на участках набрызгбетонной обделки, содержащих усиленное армирование, как например в местах установки сварных армоферм или в местах сопряжения арматурных сварных сеток. Поэтому при проектировании следует сконцентрироваться на сведениях армирования продольной арматурой до минимума посредством оптимизации поперечного сечения для уменьшения изгибающих моментов

- увеличения толщины тоннельной обделки до точки сопряжения ее с обратным сводом.
- использования более благоприятного армирования стальными фибрами, где возможно.

Если в силу ряда причин потребуется армирование сетками или арматурными стержнями, элементы этого армирования должны быть простыми, легко возводимыми и позволять легко и качественно наносить набрызгбетон. Армирование должно способствовать полной его инкапсуляции набрызгбетоном и позволять устанавливать его последовательно. Ни при каких обстоятельствах нельзя наносить набрызгбетон через мелкие ячейки армирования.

9.5.2 Армирование стальными фибрами

Применение традиционного армирования, например сварными сетками или арматурными стержнями в набрызгбетоне не эффектив-

но и создает определенные трудности по следующим причинам:

- необходимость в ряде слоев увеличивать требуемую толщину слоя, чтобы инкапсулировать армирование, что приводит к снижению сцепления породой и между слоями
- коррозия стального армирования может привести к сильному растрескиванию бетона вследствие увеличения объема
- при обычном стальном армировании трещин меньше, но они шире, чем у бетона, армированного фибрами, в результате чего водонепроницаемость и прочность хуже, как показано на рисунке 68.

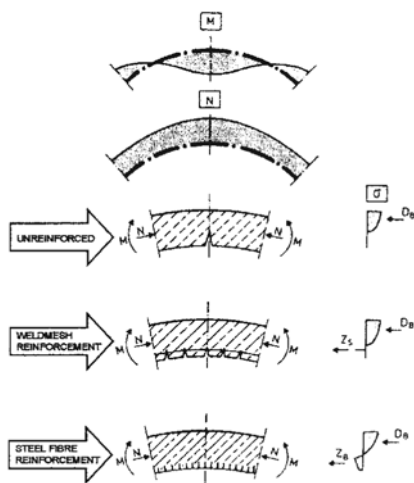


Рисунок 74: Контроль растрескивания армированием стальными фибрами

unreinforced-неармированный

weldmesh reinforcement-армирование сварными сетками

steel fibre reinforcement-армирование стальными фибрами

Стальные фибры успешно использовались в тоннельных проектах, в которых набрызгбетон являлся постоянной обделкой для уменьшения ширины трещин до 0.2 мм. Преимущество такого армирования заключается в том, что фибры распределяются хаотично и равномерно по всему объему тоннельной обделки, обеспечивая однородное армирование, которое равномерно перераспределяет растягивающие нагрузки. Образуется больше равномерно распределенных микротрещин ограниченной глубины, как показано на ри-

сунке 74. Стальные фибры также превращают бетон из хрупкого в более эластичный материал; предоставляют лучшую способность выдерживать нагрузку, вторичное растрескивание посредством эффективного перераспределения нагрузок, повышая таким образом безопасность конструкции во время строительства.

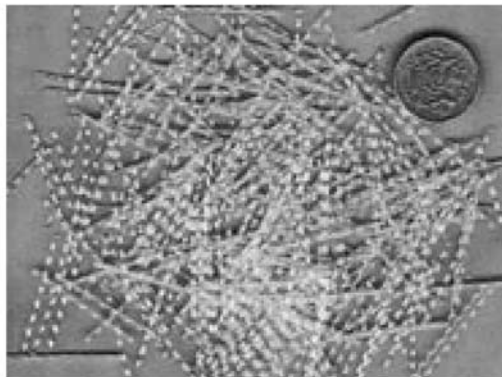


Рисунок 75: Полимерные фибры

Полимерные фибры получили применение совсем недавно (см. рисунок 75). Полимерные фибры дополнительно обладают лучшим сопротивлением к коррозии, во всем остальном имея такие же достоинства как и стальные фибры.

9.6 Армирование породы

Напряженные и ненапряженные анкеры следует рассматривать как элементы постоянного крепления. По мере их установки в породе и в зависимости от их типа и устройства, они являются потенциальными проводниками (каналами) для подземных вод. Поэтому при их установке необходимо обеспечить их расположение в центре буровой скважины или шпура и произвести полную инкапсуляцию стального стержня в растворе цемента или другого химического вяжущего. Здесь преследуется 2 цели, во-первых, уменьшить риск коррозии анкера, во-вторых, предотвратить доступ воды во внутреннюю часть тоннельной обделки.

Пример постоянного анкерного болта приведен на рисунке 70, где продемонстрирована последовательность установки анкера (типа СТ или аналога), разработанная Dr Sauer Company. Принцип системы - бурение и установка анкера за один прием (анкер-буровая штанга). Принцип особенно выгоден в плохих грунтовых условиях, где порода неустойчива и приводит к обрушению шпура еще до установки анкера. Кроме того, анкерный болт полностью инкапсулируется в жидком растворе, так как зазор вокруг штанги-анкера заполняется раствором. Анкерный болт находится в центре отверстия, гарантируя таким образом оптимальную защиту от коррозии.

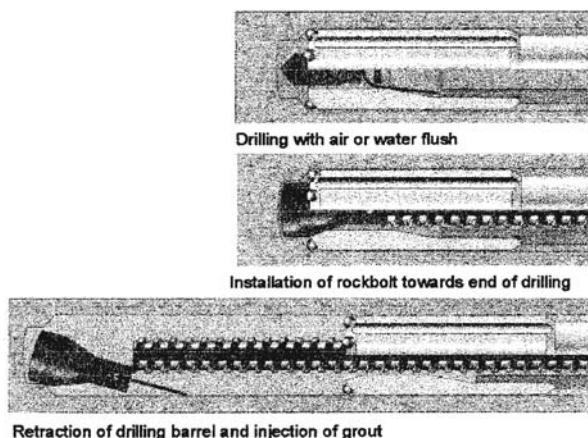


Рисунок 76: GSA анкер для постоянного крепления слабоустойчивой породы.

Drilling with air or water flush-Бурение с воздушной и водяной промывкой

Installation of rockbolt towards end of drilling-Установка анкерного болта в конце бурения

Retraction of drilling barrel and injection of grout-Отделение буровой коронки и нагнетание инъекционного раствора

Во всех типах анкеров, закрепленных инъектируемыми растворами, растворы должны способствовать снижению температурного растрескивания, и быть желательно тиксотропными для предотвращения их вымывания в процессе начального схватывания. Такими свойствами обладает, например, раствор MEYCO * Fix Flowcable, который дает значи-

тельную прочность на сжатие 70МПа в возрасте 28 суток. Это раствор, не содержащий ионов хлора, у которого не наблюдается (или наблюдается мало) термического растрескивания.

9.7 Строительные швы, связанные с последовательностью проходческих работ

На рисунке 77 показана обычная последовательность разработки породы, принятая в строительстве тоннелей с набрызгбетонными обделками. Как утверждалось выше, уменьшение стального армирования в набрызгбетонной обделке - один из ключевых способов значительного снижения доступа воды. Во всех узлах соединения необходимо связующее армирование между набрызгбетоном одной части тоннеля и другой его части, например соединение арматуры между верхним и нижним уступами. Поэтому для того, чтобы частично устранить риск доступа воды, философия проекта должна сводить до минимума

количество строительных швов в разрезе тоннельной обделки, а также по мере возможности упростить конструкцию связующих элементов.

Как видно из рисунка 77, последовательность разработки: передовой верхний забой, нижний уступ, обратный свод со встроенными вспомогательными конструктивными элементами предоставляет оптимальное решение

этой проблемы. Особая сложность возникает при использовании способа разработки с одной боковой или с боковыми штольнями. Здесь сложность представляет соединение деталей боковой временной стенки и основной тоннельной обделки. Эти соединения содержат решетчатые фермы в главной и временной боковой стенке в дополнение к значительному связующему армированию, цель которых – обеспечение необходимой конструктивной цельности всего сечения, но это обостряет проблему доступа воды.

Типичное расположение и количество таких соединений выделены на рисунке 77 черными кругами.

В соответствии с методом SPTL последовательность строительства: передовой верхний забой, нижний уступ и обратный свод невозможна из-за недостаточной устойчивости породы, можно решать проблему делением забоя на большее количество элементов (рисунок 77); в этом случае представляется более предпочтительным метод центрального передового тоннеля с последующим его расширением.

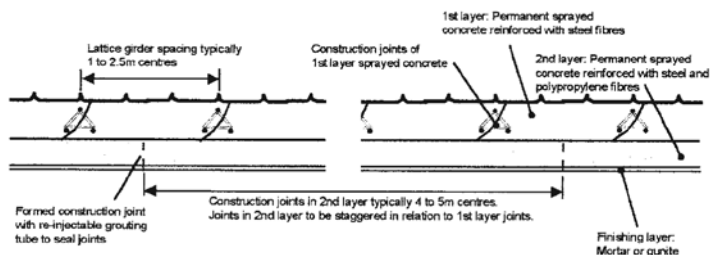


Рисунок 77: Виды стыков при разных методах строительства тоннелей с набрызгбетонной обделкой (указаны только соединения в окончательной обделке)

Top heading-bench-invert method-Метод: передовой верхний забой-нижний уступ - обратный свод

Single sidewall drift method-Метод одиночной боковой штольни

Pilot enlargement method-Метод передовой штольни и последующего расширения

Double sidewall drift method -Метод двух боковых штолен

Simple first layer construction joints...- Соединения в строении первого простоя:

- Риск доступа воды понижается
- Надежный и простой метод с конструктивной точки зрения

Complex first layer construction joints...

- Сложный строительный шов первого слоя:
- Риск доступа воды повышается
- работоспособность конструкции снижается при неправильном выполнении

9.8 Двухслойный метод SPTL - стыки в построении второго слоя

Как обсуждалось выше - второй слой в двухслойном методе SPTL формируется из набрызгбетона. В системе не должно быть продольных соединений, не считая связи с обратным сводом. Длина пролета набрызгбетонной крепи должна составлять около 4-5 метров, так как это типичное поперечное расстояние вылета стрелы робота при автоматизированном набрызгбетонировании (рисунок 78). Строительные швы в конце пролета должны располагаться в стороне как минимум на 0,5 м относительно строительных швов первого слоя ,чтобы обеспечивать большую водонепроницаемость обделки.

Одной из основных функций второго слоя является повышение водонепроницаемости конструкции. Для большей безопасности можно устанавливать шпонки или другие элементы герметизации.

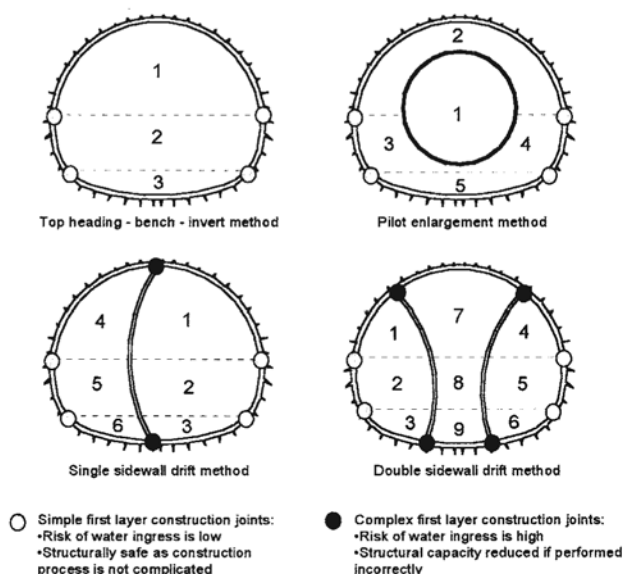


Рисунок 78: Двуслойный метод SPTL: 2-ой слой набрызгбетона

Lattice girder spacing typically 1 to 2.5 m centres-Решетчатые армофермы устанавливают типично с шагом от 1 до 2.5 м.

Construction joints of 1st layer spr.concrete-Строительные швы 1-го слоя набрызгбетона

1st layer:Permanent spr.concrete reinforced with steel fibres-1-слой:Постоянный набрызгбетон, армированный стальными фибрами

2nd layer:Permanent spr.concrete reinforced with steel and polypropylene fibres-2-ой слой: Постоянный набрызгбетон, армированный стальными и полипропиленовыми фибрами

Formed construction joint with re-injectable grouting tube to seal joints-Строительный шов с трубкой для вторичного нагнетания раствора в шов

Construction joints in 2nd layer typically 4to5m centres.Joints in 2nd layer to be staggered in relation to 1st layer joints-

Строительные швы во 2-слое, типично с центром от 4 до 5 м.

Строительные швы 2-го слоя должны быть в стороне относительно соединений 1-го слоя

Finishing layer:Mortar or gunite-Завершающий слой: Строительный раствор или торкретбетон

Для набрызгбетонных обделок требуется крепкая система. Экономичное решение - система Masterflex® 900-Fuko, состоящая из нагнетательной трубки PVC, надежно закрепленной в полукруглом углублении, сформированном на поверхности соединения в процессе сооружения предыдущего пролета.

Трубка Fuko имеет 4 отверстия, прикрытые неопреновыми полостями, закрывающими отверстия по всей длине трубки. Эти PVC трубки с отверстием действуют как односторонние клапаны. Вся трубка и трубка с отверстиями связаны между собой соединительной нейлоновой сеткой. Нагнетательная трубка Fuko может нагнетать либо смолу Masterflex® 601 или микроцемент Rheocem® при наблюдении проникновения воды в тоннель на любом этапе его службы. Целесообразно провести нагнетание через год после завершения тоннеля, для того, чтобы определить возможные участки доступа воды и далее проводить нагнетание в необходимых местах, а не на всех соединениях.

Система Fuko позволяет совершать многократные нагнетания на протяжении всего срока службы сооружения, если возникает такая необходимость.

Нагнетательные трубки должны быть заглублены в набрызгбетонный слой минимум на 50мм.

9.9 Двуслойный метод SPTL - сцепление первого и второго слоев

Для обеспечения монолитной структуры сцепление между первым и вторым слоями должно быть плотным и создавать трение, чтобы компенсировать срезающие силы вдоль слоев. Следует избегать использования соединительной арматуры между двумя слоями, так как это способствует проникновению воды во внутренний слой и через него в тоннель, что негативно влияет на долговечность. Сцепление между слоями, препятствующее срезающим и растягивающим усилиям, гарантируется жесткой поверхностью 1-го слоя, которая эффективно взаимодействует с поверхностью второго слоя, как показано на рисунке 79.

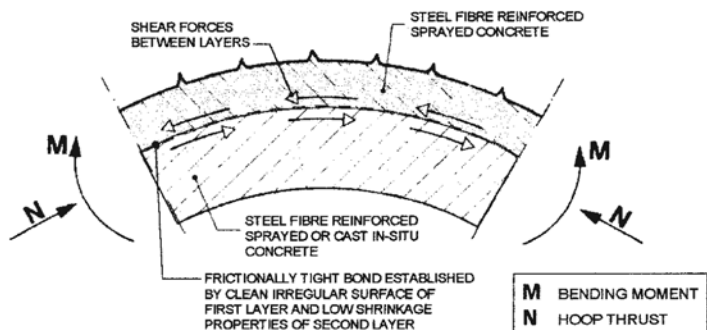


Рисунок 79: Двуслойная структура SPTL, указывающая на действие срезающих сил вдоль поверхности контакта слоев

Shear forces between layers-Срезающие силы между слоями
 Steel fibre reinforced spr.concrete-Набрызгбетон, армированный стальными фибрами
 Steel fibre reinforced spr. or cast in-situ concrete- Набрызгбетон, армированный стальными фибрами или монолитный бетон
 Frictionally tight bond...- Фрикционно сжатое сцепление, создающееся за счет неровной поверхности 1-слоя и усадочными свойствами 2-слоя

M Bending moment-M изгибающий момент

N Hoop thrust-N Нормальные силы

Кроме того, чтобы получить надежное сцепление со вторым слоем, поверхность первого слоя необходимо соответственно подготовить:

- удалить все поврежденные и отслоившиеся куски 1-го слоя
- очистить с помощью высокого давления воздуха и струей воды пыль, сажу или цементную пленку на 1-м слое. Очистка является весьма эффективной с применением пескоструйного аппарата
- удалить возможные смазочные вещества и масляные пятна, используя специальные очистительные средства
- Поверхность должна быть влажной, но не насыщенной водой перед нанесением 2-го слоя

Прочность сцепления также усиливается правильным проектированием бетонной смеси, с применением добавок, снижающих в/ц, и добавок, уменьшающих начальное температурное растрескивание

ние и снижающих тепловыделения при гидратации; необходимы также добавки по уходу в процессе твердения бетона. При достижении хорошего сцепления 2-ой слой ведет себя по отношению к первому как монолитное покрытие.

Для удовлетворения этого требования, БАСФ разработала бетонную добавку MEYCO®TCC 735. Этот продукт обеспечивает однородную цементную гидратацию с момента набрызга и на протяжении всего процесса набрызга или укладки. Продукт существенно понижает внутренние усадочные напряжения и усиливает прочность и плотность, что приводит к улучшенному сцеплению с предыдущими слоями. Весьма важное преимущество в рабочем цикле - введением MEYCO®TCC 735 в смесь устраняется необходимость в веществах наружного ухода за бетоном - в их использовании и удалении перед нанесением последующего слоя.

9.10 Отделка поверхности

В зависимости от предназначенной роли тоннельной отделки можно представить несколько вариантов отделки поверхности при методе SPTL- от набрызгбетонной отделки до заглаженной поверхности.

9.10.1 Шероховатая и ровная заглаженная поверхности

Поверхность набрызгбетонных отделок можно завершить и загладить вручную для достижения качества, близкого к качеству монолитной бетонной отделки. Этот процесс обычно производят на поверхностном слое распыленного строительного раствора, нанесенного на завершающем этапе. Обычно толщина такого слоя 25 мм. Полипропиленовое моноволокно можно включить в состав смеси для контроля образования трещин на поверхности, которые образуются из-за термического действия и высыхания поверхности. В качестве примера можно привести штукатурный раствор Emaco®S 88C. Процесс шлифования относительно простой - виброрейки толщиной 25мм выгибаются по контуру тоннеля, а при необходимости можно улучшить обработку поверхности заглаживанием.

В случае тоннелей на скоростных автодорогах, как показано на рисунке 80, для необходимой отражательной способности боковых стен тоннеля (до высоты около 4 м от поверхности дороги) нужна гладкая поверхность умеренно светлого цвета. Поверх этой части,

в своде тоннеля, предпочтительнее секции темного цвета и с низкой отражательной способностью.

Такой расчет отражательной способности и цвета предоставляет следующие преимущества:

- не создается клаустрофобного эффекта отраженного тоннеля и создается эффект большей видимости, расширяющей тоннель
- расходуется меньше энергии для вентиляции и источников света
- средства обслуживания и металлические изделия в верхней части тоннеля затемняются
- есть место для очистительной машины и не видно запачканной поверхности
- способствует распределению света на дорожной поверхности

Для достижения такой поверхности рекомендуется сначала зашлифовать стены до высоты 4 м. И далее обработать их вручную до полностью гладкой поверхности. Чтобы удовлетворить требования высокой отражательной способности и светлого цвета, предлагается применение пигментированного цементирующего осветляющего покрытия как Masterseal® 333 или эпоксидная облицовка Mastertop®1211. Для верхних частей поверхность можно оставить слегка затертой и произвести окраску, как описано выше, с применением черного пигмента.

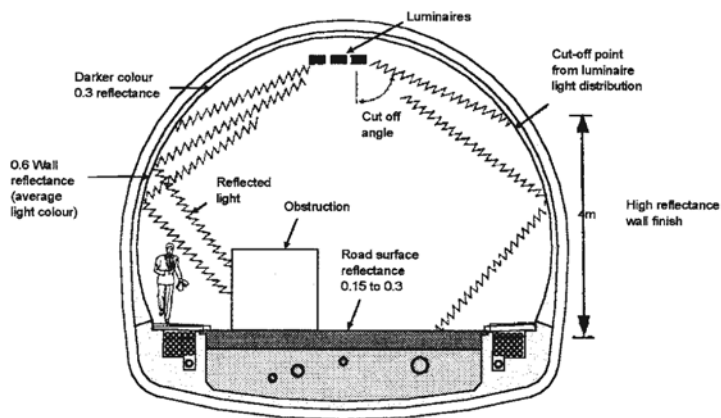


Рисунок 80: Требования отражательной способности к поверхности в двухпутном скоростном автодорожном тоннеле (Великобритания)

Luminaries-Источник света
Darker colour 0.3 reflectance- Отражательная способность более темного цвета 0,3
0.6 Wall reflectance (average light colour)-Отражательная способность стены 0,6
Reflected light-Отраженный свет
Obstruction-Преграда
Road surface reflectance 0.15 to 0.3 - Отражательная способность дороги от 0,15 до 0,3
Cut off angle-Угол отражения
Cut-off point from luminaire light distribution- Точка отражения от распределения источника света
High reflectance wall finish-Стена с высокой отражательной способностью

9.10.2 Системы плакирования

Альтернативой к вышеуказанному подходу для обеспечения требуемой отделки поверхности является установка плакированных боковых стен. Системы плакирования, состоящие из стеклообразующей эмали на стальном листе, считаются самыми подходящими в тоннельной среде. При плакировании стеклообразующей эмалью(СЭ) достигаются: прочность, сопротивление удару, легкое очищение, химическая инертность и огнестойкость. Особенное преимущество этого покрытия в том, что оно вплавляется в стальной лист, образуя крепкую единую поверхность с постоянным цветом. Такие системы плакирования могут предоставить способ укрытия и защиты любого электрического тоннельного оборудования. Они понижают требования к обработке поверхности набрызг-бетонных обделок в тоннеле.

9.11 Достижение долговечности набрызгбетонной обделки

Факторы, влияющие на долговечность набрызгбетонных сооружений, детально рассмотрены в главе 6.

9.12 Строительные рекомендации

9.12.1 Условия применения



Рисунок 81: Автоматизированный набрызг обеспечивает высшее качество набрызгбетона

Для получения долговечного набрызгбетона и обеспечения свойств материала, которые удовлетворяют требованиям проектировщика, процесс применения должен соответствовать следующим критериям:

- обеспечение бетона с высокими прочностными показателями и с минимальными отклонениями в качестве
- система должна обладать контролируемым predetermined водоцементным отношением - максимум 0.45, чтобы гарантировать возможно меньшую усадку, высокую прочность на сжатие и значительно уменьшить водонепроницаемость.

Robotic boom keeps parallel to sprayed concrete surface during spraying-Стрела робота находится параллельно набрызгбетонной поверхности во время набрызга

Correct nozzle distance - Правильная дистанция сопла

Automatic nozzle oscillator for smooth finish- Автоматический осциллятор сопла для гладкой отделки

3600 Revolution-Поворот на 360°

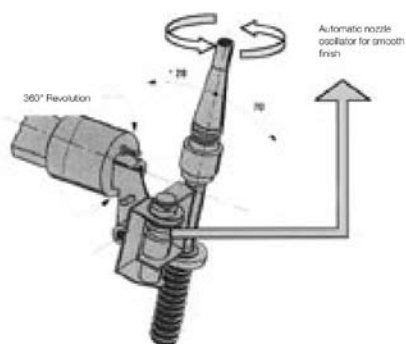
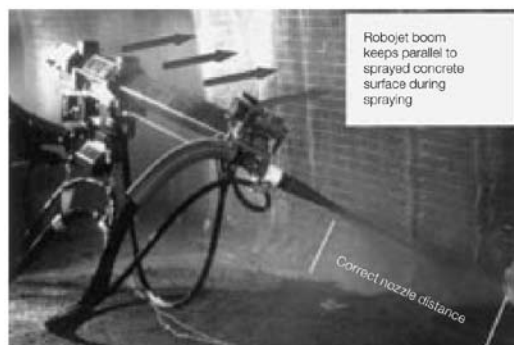


Рисунок 82: Автоматизированному набрызгу способствует большая степень свободы сопла

- тщательно смешанный (включая фибры), однородный бетон должен образовываться у сопла и не подвергаться влиянию пульсации и засорений
- измеренный отскок заполнителя должен быть ниже 10%, обеспечивая тоннельную обделку материалом, подходящим по качеству. Это оказывает решающее действие на снижение расслоения, образования скрытых зон за стальным армированием, трещинообразование и плохую микроструктуру.
- измеренный отскок стальных фибр должен не превышать 20%, чтобы предоставить эффективный контроль за трещинообразованием и плотностью бетона, тем самым улучшая долговечность тоннельной обделки.
- Автоматизированный агрегат для дозирования ускорителей, ко-

торый работает синхронно с выпуском готовой смеси, предназначен для определения точных доз. Насосы-дозаторы должны быть способны распределять жидкие суспензии не едких, бесщелочных ускорителей.

- толстые бетонные слои до 150 мм можно укладывать одним слоем, что способствует образованию более однородной структуры
- низкое пылеобразование обеспечивает лучшую видимость для сопловщика, в результате они лучше контролируют процесс набрызга

- цель системы следует направить на уменьшение риска влияния людей, негативно отражающегося на качестве набрызгбетона. Например, автоматические самоходные установки для набрызгбетонирования как MEYCO * Robojet

должны использоваться по возможности везде для применения набрызгбетона высшего качества более надежным и экономичным способом (см. главу 10.4)

- нужно иметь готовую партию набрызгбетона для непредвиденных случаев в тоннельных работах. Этому содействует система контроля гидратации Стабилизатор Delvo*crete

- в случае трещиноватого грунта и наличия сильного водопитока система должна быть приспособляемой для гарантирования свойств немедленного схватывания набрызгбетона (мгновенное схватывание).

- способ применения набрызгбетона должен позволять эффективное затверждение бетона, которое не окажет неблагоприятного действия на прочность сжатия между последующими слоями, как например, с примесью MEYCO *TC 735, повышающей качество бетона.

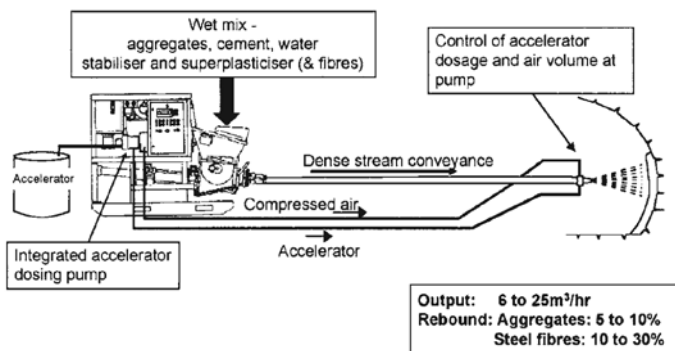


Рисунок 83: Процесс мокрого набрызгбетонирования

Wet mix-aggregates, cement, water, stabiliser and superplasticiser (&fibres) – затворенная бетонная смесь - заполнители, цемент, вода,
 стабилизатор и суперпластификатор (и фибра)
 Control of accelerator dosage and air volume at pump- Контроль дозирования ускорителя и объема воздуха у сопла
 Dense stream conveyance- Подача плотной бетонной струи
 Compressed air- Сжатый воздух
 Accelerator- Ускоритель
 Integrated accelerator dosing pump- Насос-дозатор комплексного ускорителя
 Output :6 to 25m3/hr- Производительность: от 6 до 25 м3/час
 Rebound: Aggregates:5 to 10%- Отскок: Заполнитель: от 5 до10%
 Steel fibres:10 to 30 %- Стальные фибры: от10 до30%

Insert figure 83

Принимая во внимание перечисленные требования к постоянным обделкам, рекомендуется использовать только мокрый способ набрызга (рисунок 83). В настоящее время мокрый способ набрызга - единственный эффективный способ достижения качества, особенно в контроле водоцементного отношения, что является существенным фактором для долговечности бетона и долгосрочной прочности. Более того, мокрый способ также проявил экономические преимущества перед сухим способом.

9.12.2 Руководство по выбору современных систем применения

Принимая во внимание перечисленные в главе 9.12.1 требования к устройству Однослойных Тоннельных Обделок, рекомендуется использовать мокрый способ набрызга. Это обеспечивает надежность, качество и продуктивность, в результате чего сооружаются долговечные и постоянные тоннельные обделки.

9.13 Системы контролирования риска

Design Uncertainties- Неопределенности в проектировании
 Construction control- Контроль конструкции
 Geological conditions- Геологические условия
 Supervision-технический надзор
 Structure performance- Действие структуры
 Training- Обучение

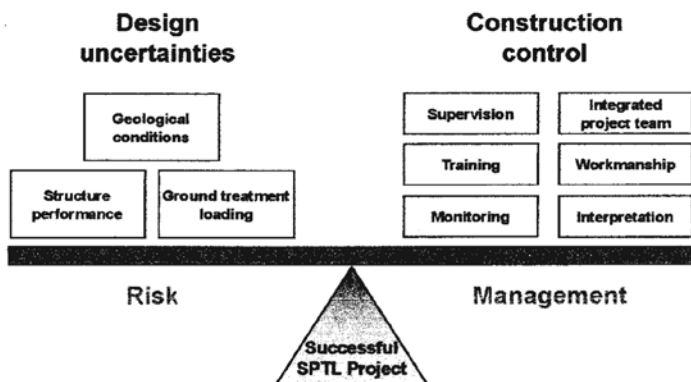


Рисунок 84: Упрощенная модель для показа управления рисками, связанными с неопределенностями в проекте, посредством активного контроля конструкции

Ground treatment loading- Несущая способность за счет обработки грунта
Monitoring- мониторинг

Risk Management - Управление риском

Integrated Project team- Единая команда проекта

Successful SPTL Project - Успешный Проект SPTL

Workmanship- Квалификация

Interpretation- Толкование

Как и во всех инженерных проблемах, проектированию тоннелей свойственны неопределенности, особенно там, где сооружения главным образом зависят от подходящей конструкции и удовлетворительного действия материала. Неопределенности проекта или риск, как упрощенно показано на рисунке 84, можно резюмировать следующим образом:

- геологические неясности могут включать непредсказуемые изменения на участках между скважинами, или свойства, не определенные во время изысканий на участке строительства
- переменчивость и неопределенность тоннельной обделки или ее узлов может приводить к недостаточным темпам набора прочности набрызгбетонной обделки, задержки в установке или неправильное сечение: все это часто приписывается влиянию человека на набрызгбетонные обделки
- неопределенности в обработке грунта могут привести к дополнительной нагрузке, вызванной операциями обработки грунта, как например, компенсационным нагнетением раствора, особенно на участках тоннеля со свежим набрызгбетоном. Эти меры обработ-

ки позволяют равномерно распределить всю нагрузку на обделку тоннеля.

В ответ на этот риск, успех метода SPTL должен гарантироваться обеспечением хорошо испытанной системы управления риском в процессе строительства, чтобы предоставить отзывы тем, кто несет ответственность за проект, конструкцию и наблюдение. Это позволяет принимать решения на основе информации, чтобы уменьшить возможные незапланированные происшествия. На рисунке 84 это упоминается как «контроль конструкции», где следующие элементы считаются решающими:

Наблюдение за работами в обязательном порядке должно проводиться компетентными инженерами с имеющимся предыдущим опытом подобной роли в аналогичных проектах. Навыки в строительстве и проектировании, полученные на тоннельных объектах со сборной железобетонной обделкой не имеют отношения к практике тоннелестроения с набрызгбетоном. Особенные требуемые навыки:

- полное понимание проекта
- всесторонние знания о конструкции для использования набрызгбетона как системы постоянного крепления
- знания о современной высокопроизводительной технологии бетона
- понимание поведения грунта
- способность интерпретировать результаты деформаций в тоннельной обделке и результаты мониторинга поведения грунтового массива
- чрезвычайно важно умение общения с бригадами, занятыми на строительстве тоннеля, с точки зрения оценки безопасности, дополнительных мер в контроле качества.

Особое ударение нужно сделать на формирование отношений единой команды между всеми сторонами контракта и любым другим органом, задействованным в тоннельных работах. В частности, если речь идет о наблюдении или оценке результатов контроля. Рекомендуется каждый день проводить встречи с представителями всех участников проекта для обзора всех контрольных результатов, свойств набрызгбетонных материалов, геологической информации и строительных операций от SPTL операторов.

Что касается контроля деформаций, предельные уровни должны устанавливаться в проекте как предупреждение неожиданных случаев. Меры против непредвиденных обстоятельств следует иметь наготове для немедленного применения в случае превышения предельных уровней. Такие непредвиденные ситуации могут

происходить в любое время строительства тоннеля, и избежать их можно увеличением частоты наблюдений и полной подготовке для проведения срочного дополнительного крепления тоннеля. Все контрольные данные должны возвращаться к проектирующей бригаде для анализа, тем самым можно точнее предсказать последующие работы при проходке или потенциально изменить последовательность строительства и условия крепления.

9.14 Повышение водонепроницаемости путем применения мембран, создаваемых методом набрызга

Хотя метод SPTL основан на принципе водонепроницаемого бетона, можно обеспечить дополнительную защиту от доступа воды использованием водонепроницаемой мембраны. Традиционно употреблялись готовые полимерные листовые мембраны, качество которых зависело от методов сваривания мембран на стыках, особенно в местах пересечения. Более того, когда мембраны устанавливаются с внутренним слоем набрызгбетона, могут сложиться следующие неблагоприятные условия:

- так как мембраны не плотно прикреплены, внутренняя набрызгбетонная обделка может не иметь плотного контакта с породой или предыдущим слоем. Это может привести к асимметричной нагрузке тоннельной обделки.
- чтобы способствовать нанесению второго слоя набрызгбетона на мембраны, необходимо устанавливать сварные сетки. Вследствие плотного прикрепления мембраны часто качество набрызгбетона между сеткой и мембраной плохое, что является причиной снижения их долговечности
- величина сцепления между внутренней набрызгбетонной обделкой и мембраной недостаточна, и ведет к потенциальному отслоению, особенно в сводовой части тоннелей.

Для того чтобы бороться с этими проблемами, MBT разработала полимерную распылительную систему на основе воды - Masterseal* 340F. Эта мембрана обладает превосходным двусторонним сцеплением (от 0,8 до 1,3 МПа), что делает возможным ее употребление в составных структурах, а также обладает эластичностью в пределах от 80 до 140% при различных температурах.

Будучи дисперсией на основе воды без опасных компонентов, она безопасна в обращении и надежна в применении на ограниченных участках. Такие материальные преимущества Masterseal*340F придают дополнительную значительную защиту против доступа воды в следующих применениях :

9.14.1 Тоннели SPTL имеют потенциальный риск образования течей

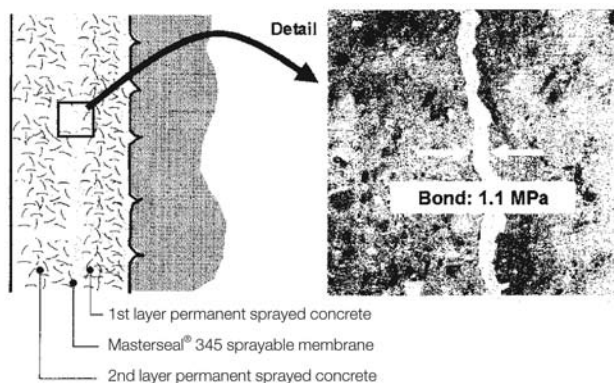


Рисунок 85: Распыленная мембрана Masterseal® 345, нанесенная между слоями постоянного набрызгбетона.

Detail- Деталь

Bond: 1.1 MPa- Сцепление: 1,1 МПа

1st layer permanent sprayed concrete- 1-й слой постоянного набрызгбетона

Masterseal® 345 sprayable membrane- Распыленная мембрана Masterseal® 345

2nd layer permanent sprayed concrete- 2-й слой постоянного набрызгбетона

Для тоннелей SPTL, сооруженных над водной поверхностью, или в условиях грунта с низкой проницаемостью, Masterseal® 345 может употребляться между двумя слоями, как показано на рисунке 85.

В этом случае Masterseal® 345 нанесена после 1-го слоя постоянного набрызгбетона, где распыленная поверхность должна быть как можно ровнее, чтобы экономично использовать мембрану толщины от 5 до 8 мм. Затем 2-й слой постоянного набрызгбетона, армированного стальными фибрами, можно нанести внутри. Так как прочность сцепления между Masterseal® 345 и двумя слоями постоянного набрызгбетона составляет около 1 МПа, структура может действовать монолитно, при этом распылительная мембрана сопротивляется гидростатическому давлению до 15 бар.

Учитывая, что такое применение не предусматривает стока воды, 2-й слой набрызгбетона должен проектироваться так, чтобы он мог сопротивляться любому возможному гидростатическому давлению на протяжении всего срока службы сооружения.

9.14.2 Тоннели SPTL с активным доступом воды

Для тоннелей SPTL с активным доступом воды и большим гидростатическим давлением можно избрать решение, указанное на рисунке 80. Этот подход позволяет воду, скопившуюся с внешней стороны распыленной мембраны, выпустить через управляемую дренажную систему.

Рисунок 86: Masterseal® 345, нанесенная на внутреннюю поверхность крепи, в случаях активного доступа воды и больших гидростатических давлений.

Как видно по рисунку 86, система состоит из слоя геотекстиля, прикрепленного винтом Hilti к конструктивной набрызгбетонной крепи, для контроля доступа воды и обеспечения сухой поверхности, чтобы нанести мембрану Masterseal® 345. Все стыки геотекстиля и места крепления дюбелем Hilti достаточно покрыты Masterseal® 345, обычно толщиной в 3-5мм. Завершающий, неконструктивный слой набрызгбетона наносится для защиты. Толщина завершающего слоя набрызгбетона зависит от размера тоннеля, может обеспечить огнестойкость и подвергается требуемой обработке поверхности.

9.14.3 Реконструкция существующих тоннелей

Во многих случаях набрызгбетонные крепи все в большей степени употребляются при реконструкции существующих тоннелей и подземных сооружений. В таких проектах Masterseal® 345 может предложить усиленную защиту от доступа воды, а значит, и продлить долговечность новой обделки.

Как показано на рисунке 87, Masterseal® 345 можно наносить непосредственно на существующие конструкции или используя выравнивающий слой распыленного строительного раствора, а при необходимости заглаженный набрызгбетон. На участках тоннеля с активным доступом воды, рекомендуется наносить систему геотекстильного слоя (описанную выше) прямо на существующие конструкции. После нанесения Masterseal® 345 можно наносить слой постоянного набрызгбетона, армированный стальными фибрами, и отделать поверхность по необходимости.

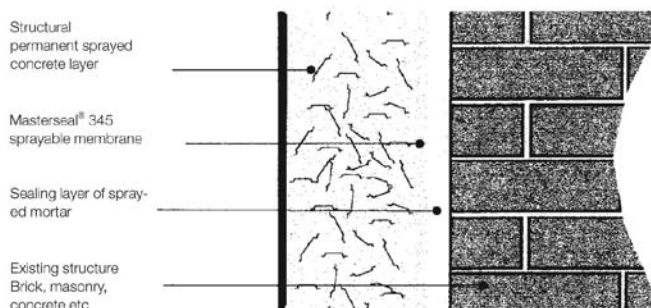


Рисунок 87: Masterseal® 345, использованный в существующем сооружении как элемент восстановительных работ.

Structural permanent spr.concrete layer- Постоянный конструктивный слой набрызгбетона

Masterseal® 345 sprayable membrane-Распыленная мембрана Masterseal® 345

Sealing layer of sprayed mortar-Герметизирующий слой набрызжного строительного раствора

Existing structure Brick,masonry,concrete etc.- Существующее сооружение : Кирпич, каменная кладка, бетон и т.д.

10 **Рекомендации по применению набрызгбетона**

Эта глава в общих чертах намечает, что следует предпринять для получения высококачественного набрызгбетона после того как будет оптимизировано проектирование набрызгбетонной смеси. Среди описанных операций одной из самых существенных можно назвать правильную технику использования сопла.

С появлением мокрого способа, использование автоматического манипулятора при набрызгбетонировании стало привычным, особенно в тоннельных проектах, поэтому также рассматриваются и эти методы.

В заключение обсуждается необходимость повышения уровня компетенции работников для достижения новых, требуемых условий строительства из прочного, высококачественного набрызгбетона.

10.1 **Подготовка поверхности**

Прежде чем использовать набрызгбетон, сопловщики должны быть осведомлены о требованиях, предъявляемых к свойствам набрызгбетонной крепи. Они включают в себя требуемую толщину, сечение и знания о важных с точки зрения безопасности элементах крепи, которым нужно уделять особое внимание в процессе набрызга. Примером могут послужить строительные швы, такие как у способа боковых штолен, который показан на рисунке 88.

Сразу после выемки и до употребления набрызгбетона, нужно представить геологическую карту или съемки необработанной поверхности породы в соответствии с процедурами тоннельного проекта.

Для эффективной адгезии набрызгбетона с породой, поверхность, на которую наносится набрызгбетон, должна быть влажной и очищенной от подвижных не стабильных кусков породы путем их оборки с использованием сжатого воздуха или струи воды. Излишне набрызганный бетон на предыдущем этапе, который не сильно приклеился к сетке и стальным аркам, также следует удалить.

Доступ грунтовой воды в тоннель часто оказывает пагубное влияние на качество и прочность набрызгбетона. В таких ситуациях неквалифицированные бригады обычно стараются наносить набрызгбетон на участки с активным водопроявлением, используя набрызгбетон с очень высокими дозами ускорителей.

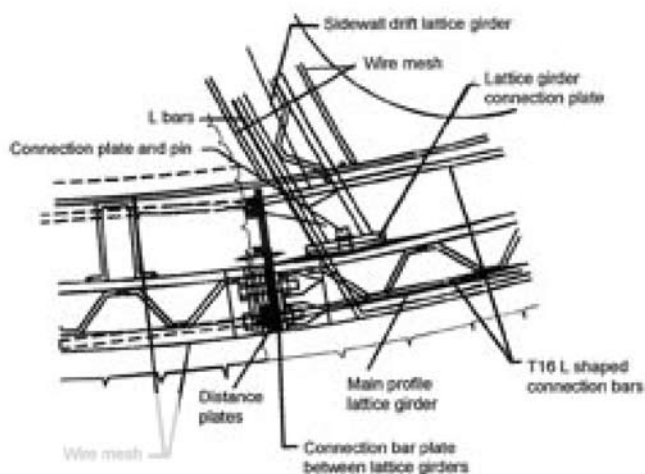


Рисунок 88: Метод боковых штолен. Стык временной боковой стенки с основной обделкой обычно сильно армируется (как показано на схеме). Для такого соединения требуется хорошее уплотнение набрызгбетона для обеспечения стабильности крепи после разработки всего сечения тоннеля.

Sidewall drift lattice girder-Боковые штольни с решетчатыми фермами

Wire mesh- Сварная сетка

L bars- Стержни L

Connection plate and pin- Соединительная плита и болты

Distance plates-Шаг между соединительными плитами

Lattice girder connection plate-Плита соединения решетчатых ферм

Main profile lattice girder-Решетчатые фермы основного сечения

Connection bar plate between lattice girders-Соединительная штанга между решетчатыми фермами

T 16 L shaped connection bars-Арматура диаметром 16мм, изогнутая в форме L

Рекомендуется контролировать весь доступ воды предварительной цементацией или осушением, а также устраиваемыми системами, как например дренажные трубы, установленные для перехвата и отвода воды, чтобы облегчить процесс набрызга. Эти средства должны быть эффективны по крайней мере в течении 28 суток после набрызга.

Пример проблематичного доступа воды приведен на рисунке 89.



Рисунок 89: Доступ воды, контролируемый посредством заранее установленных труб до применения набрызгбетона

Нужно всегда иметь в распоряжении индивидуальное защитное оснащение, вентиляцию и освещение, необходимые для применения набрызгбетона..

Затворенная смесь, доставленная к насосу, должна быть проверена с определением времени замеса и на ее удобоукладываемость. Все линии подачи от насоса к соплу следует надежно соединить и полностью обработать жидким раствором («пусковой смесью»). При задержках регулярно нужно проверять удобоукладываемость смеси, чтобы определить ее свежесть и способность к перекачиванию. Ни при каких обстоятельствах нельзя добавлять воду в смесь, или использовать старые смеси, которые подвергались гидратации. Поэтому рекомендуется употреблять примеси контроля гидратации, как например Стабилизатор Delvo® crete.

Что касается набрызгбетонных смесей с ускорителями, важно не употреблять набрызгбетон в работах, пока он не проявит необходимую способность схватывания. Обычно это производится прямым набрызгом на нижнюю часть поверхности тоннеля, до тех пор, пока не проявится надлежащее схватывание. Более того, сопловщик должен правильно оценить необходимые объем и давление воздуха для специфических операций набрызга и соответственно наладить устройство.

Одним из навыков сопловщика является умение распознать необходимость нанести набрызгбетон таким образом, чтобы довести до минимума риск падения неустойчивых подвижных кусков и блоков на рабочий участок тоннеля, а также предотвратить нависание или даже падение бетона с верхней части тоннеля. Чтобы выполнить это, сопловщик должен сначала заполнить пустоты и зоны со слабой породой, например трещины полости. Чем быстрее совершается это действие после разработки породы, тем безопаснее рабочий участок.

Далее нужно начать набрызг с нижней секции, методично продвигаясь к сводовой части. Благоразумно повышать дозу ускорителя в самой малой степени, чтобы схватывание произошло быстрее, и наносить множество тонких слоев, чем всю толщину сразу. В верхней части тоннеля следует наносить первоначальный слой толщиной около 50 мм, чтобы законченная обделка не провисала под собственным весом. Толщина последующих слоев может достигать вплоть до 150 мм.

Для толстых конструктивных элементов каждый последующий слой должен иметь достаточно времени для схватывания перед нанесением последующего слоя. Благодаря этому в тоннелях большого диаметра можно провести непрерывный процесс набрызга из-за

относительно большой поверхности и объема наносимого набрызг-бетона. Можно попробовать наносить толстые слои в несколько прослоек, но при этом соблюдать минимальное количество тонких слоев. Все поверхности, получающие новый слой, должны быть влажными и свободными от неприкрепленных материалов.

10.3 Снижение отскока материала и повышение качества

Одна из главных причин плохого качества бетона и возрастающих расходов при креплении - количество материала, уходящего в отскок. Это ярко выражено в процессе сухого способа набрызгбетонирования, когда сопловщик осуществляет контроль за водоцементным отношением и несет ответственность за результативный замес бетонной смеси между соплом и породой. В этом разделе выделяются меры, которые надо предпринять для снижения отскока и повышения качества.

На рисунке 90 показаны некоторые значимые факторы, которые могут повлиять на степень отскока при набрызгбетонировании с использованием мокрого и сухого способа. В случае сухого способа даны умеренные оценки. Рисунок 84 предполагает, что проектирование смеси, особенно классификация заполнителей и водоцементное отношение оптимизированы, как описывалось в Главе 3.

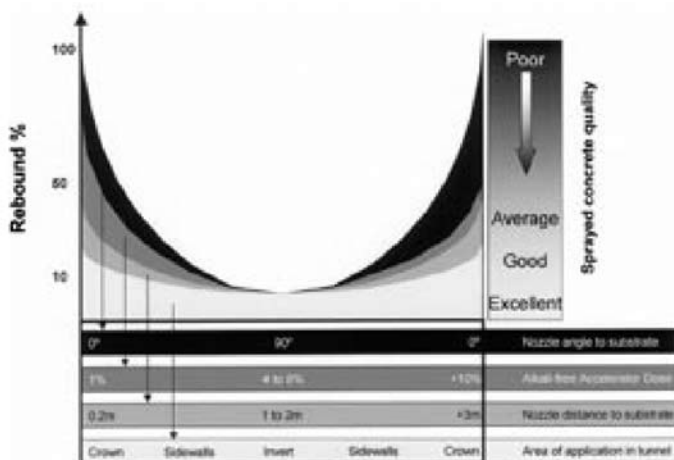


Рисунок 90: Отскок и его действие на качество набрызгбетона и его основные свойства

Rebound- Отскок
 Nozzle angle to substrate- Угол сопла по отношению к поверхности
 Sprayed concrete quality- Качество набрызгбетона
 Alkali-free accelerator dose- Доза бесщелочного ускорителя
 Poor- Низкое
 Nozzle distance to substrate- Расстояние между соплом и поверхностью
 Average- Среднее
 Area of application in tunnel- Участок для применения в тоннеле
 Good- Хорошее
 0.2m- 0,2м
 Crown- Свод тоннеля
 1 to 2m- от 1 до 2 м
 Sidewalls- Боковые стены
 Invert- Обратный свод

Величину отскока определяют 4 основных фактора:

- угол сопла по отношению к породе
- доза ускорителя
- расстояние между соплом и породой
- участок набрызгбетонирования в тоннеле

Как видно из рисунка 90, самое важное влияние на отскок оказывает угол сопла по отношению к породе. Сопло всегда следует держать под правильным углом (90°) по отношению к поверхности (см. рисунок 91) для оптимизации плотности и ориентации стальных фибр, не считая тех случаев, когда требуется полная инкапсуляция сварных ферм и стальной продольной арматуры. При ручном нанесении не всегда удобно для сопловщика, чтобы набрызг производился перпендикулярно, так как материал отскока может тут же отскочить на него. Даже углы набрызга менее 70° способствуют излишнему отскоку и плохому уплотнению бетона. Это неизбежно приводит к низкой прочности и снижению долговечности бетона. Эту проблему в основном удалось решить благодаря новым разработкам мокрого способа и набрызгу с использованием автоматических манипуляторов.

Расстояние между соплом и поверхностью, на которую наносится набрызгбетон, должно быть в пределах 1-2м., как показано на Рисунке 92. Если сопло находится ближе этого расстояния, наносимый бетон склонен к отклеиванию от свежего только уложенного материала. Если расстояние от сопла сокращается, объем продукции нужно уменьшить и быстрее двигать соплом. Далее, при увеличении расстояния сопла, например до 3 метров, энергия для уплотнения бетона сильно понижается, что опять приводит к из-



Рисунок 91: Угол сопла оказывает решающее влияние на отскок
 Nozzle angle- Угол сопла



Рисунок 92: Расстояние между соплом и породой влияет на отскок и уплотнение.
 Nozzle distance- Расстояние до сопла

быточному отскоку, плохому уплотнению и низкой прочности. При ручном набрызге обычно уменьшают мощность воздушного потока, чтобы поддерживать правильное расстояние между соплом и породой, это в свою очередь оказывает вредное влияние на качество набрызгбетона.

Доза ускорителя тоже может действовать на степень отскока, это продемонстрировано на рисунке 90. Если ускоритель употребляется в слишком малом количестве, он не обеспечит эффективного схватывания и набора прочности, поэтому только что нанесенный бетон, будучи слишком мягким, может отслоиться под влиянием следующей порции набрызгбетона при следующем движении сопла. Такое явление не определяется как отскок, но его всегда следует остерегаться.

Наоборот, если доза ускорителя слишком высокая, например, более 10%, мгновенное схватывание создает твердую поверхность, что способствует отскоку более крупных заполнителей, предотвращает полное уплотнение и, тем самым, снижая прочность и долговечность набрызгбетонной крепи.

При применении в верхней части тоннелей нужно установить равновесие в дозировании ускорителя для достижения баланса: эффективных темпов работы и величины отскока, не подвергая опасности требуемые свойства затвердевшего бетона. Ряд новых бесщелочных ускорителей MEYCO SA®, разработанных БАСФ, предоставляет большой выбор относительно низких дозировок ускорителя для обеспечения строительных требований, связанных с высокими долгосрочными эксплуатационными качествами бетона.

Нижеперечисленные факторы могут повлиять на степень отскока и, следовательно, на качество набрызгбетона:

- армирование сетками

Сетки должны надежно прикрепляться к породе до набрызга. Вибрирующие сетки могут значительно повысить величину отскока и способствовать образованию полостей, которые понижают строительную производительность и долговечность крепи. По возможности надо выбирать смеси, армированные фибрами для повышения производительности, снижения отскока, улучшения структурных свойств и сокращения затрат по проекту в целом.

Набрызгбетонная крепь, включающая арматурные сварные элементы, должна систематически выстраиваться слой за слоем, и ни при каких обстоятельствах нельзя наносить набрызгбетон через особо насыщенные арматурные элементы.

- объем, давление и подача воздуха:

Объем и давление воздуха должны устанавливаться производителем оборудования набрызгбетона. Воздушные зазоры - мера, устанавливаемая для системы, а сопло нужно проверять на износ, учитывая то, что это негативно отражается на скорости и производительности набрызгбетонирования. Турбосмеситель для ускорителя следует спроектировать таким образом, чтобы оптимизировать тщательное смешивание с густым потоком бетона у сопла.

- природа грунтов и пород:

В тоннелях с твердой породой отскок может быть значительно больше, чем в тоннелях с мягким грунтом. Это происходит из-за твердой поверхности соприкосновения, находящейся под разными углами относительно направления набрызга. В таких случаях целесообразно использовать первоначальный слой набрызгбетона в качестве «подушки», принимающей последующий конструктивный набрызгбетон.

10.4 Манипуляторы автоматизированного набрызга при мокром способе

Многие факторы, приводящие к высокой степени отскока, плохое уплотнение, снижение конструктивных показателей, а значит увеличенные затраты проекта определяются действиями сопловщика, в частности при ручном набрызгбетонировании сухим способом.

Появление современных добавок, используемых при мокром набрызгбетонировании, существенно убавило проблемы, изначально давая возможность укладывать бетон пластичным. Через несколько минут после

Нанесения новый слой набрызгбетона может наноситься и уплотняться с большей готовностью, чем материалы, которые схватываются быстро или мгновенно. Такой подход значительно снижает отскок и позволяет достичь более надежную инкапсуляцию стальных армированных элементов.

Проблемы, связанные с углом, расстоянием сопла и достижением надлежащего уплотнения с необходимым объемом и давлением воздуха решились использованием манипуляторов автоматизированного набрызга, особенно в тоннелях большого диаметра. Как видно из рисунка 93, манипулятор набрызга MEYCO® Robojet контролируется пультом дистанционного управления, который приводится в действие со-

пловщиком. Благодаря этому предоставляется возможным всегда соблюдать необходимые угол и расстояние при набрызге. Это связано с требуемым объемом и давлением воздуха, что гарантирует низкий отскок и хорошо уплотненный набрызгбетон. Хорошую обработку поверхности можно получить автоматическим колеблющимся движением сопла.

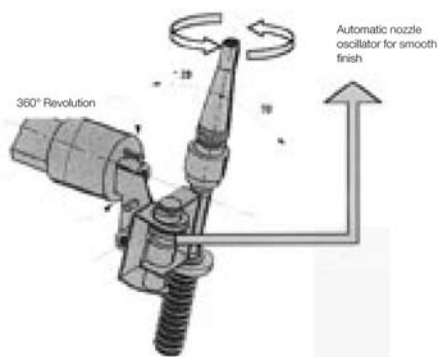
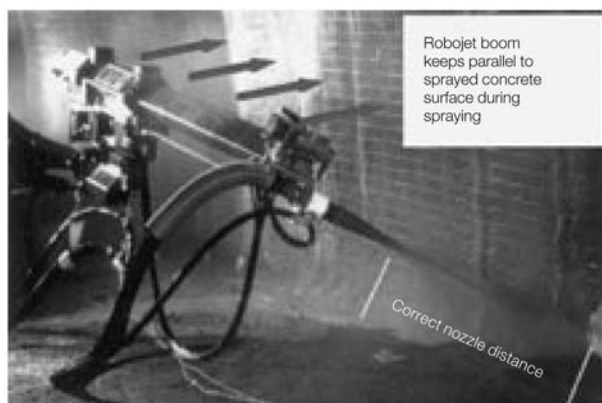


Рисунок 93: Распылительный манипулятор MEYCO® Robojet обеспечивает правильный угол и расстояние для снижения отскока и повышенного качества

Robojet boom keeps parallel to sprayed concrete surface during spraying- Стрела Robojet держится параллельно поверхности набрызгбетона в процессе набрызга

Correct nozzle distance- Правильное расстояние сопла
Automatic nozzle oscillator for smooth finish- Автоматический осциллятор для отделки гладкой поверхности
3600 Revolution- Поворот на 360°

Новые достижения в работах набрызгбетонирования облегчают установку оптимального угла и расстояния сопла с использованием автоматического режима MEYCO® Robojet Logica, как описывалось в Главе 7.2.1.1

10.5 Повышение уровня компетентности

Сопловщик должен иметь предшествующий опыт в применении постоянного набрызгбетона и знать в каких специфических проектах и как можно осуществлять процесс набрызгбетонирования. Рекомендуется, чтобы оператор либо подтвердил свой опыт в виде сертификата с предыдущего места работы или продемонстрировал свою компетентность на не-рабочих участках.

Господствующие правила добавляют требования по отношению к людям, выполняющим работу набрызга, требуя от них технического знания о бетоне, в частности о набрызгбетоне. В результате этих требований предоставляется лучшее обучение задействованному персоналу. В итоге - повышенное качество работы. Количество дополнительных подрядчиков, работающих с набрызгбетоном, возросло за последние годы, что глобально повысило качество применения.

Набрызгбетонные сооружения в высшей степени зависят от компетентности людей в процессе строительства, поэтому проектирование должно отражать этот фактор, учитывая «осуществимость» этих сооружений с использованием набрызгбетона. Замысел «осуществимости» гарантирует, что элементы, важные с точки зрения надежности и продолжительности либо тщательно обдуманы или упрощены для облегчения строительства на рабочем участке. Более того, проектирующие группы должны быть осведомлены об ограничениях строительных процессов, и быть знакомы с действием аналогичных материалов.

Современные технические требования, предъявляемые к набрызгбетону, сейчас направлены на достижение нового проектирования смеси с контролем качества, обеспечивая директивами о повышении продолжительности и эффективным выполнении процессов набрызга. В качестве примера можно привести Новые Европей-

ские Нормы по Набрызгбетону (1996г), подготовленные EFNARC, которые предоставляют всесторонние системы для выполнения постоянного набрызгбетона. Эти Нормы служат основой для новых Норм во всем мире и являются базисом новых Европейских Норм по набрызгбетону. Кроме того, EFNARC занимается такими проблемами, как обучение сопловщика и аккредитация, а также распределяет системы для подрядчиков, чтобы они могли произвести тщательный расчет сооружения и, соответственно, отладить набрызгбетонную систему и состав смеси.

Для решения глобальной проблемы обучения при применении набрызгбетона Международный Центр Геотехники и Подземных Конструкций, основанный в Швейцарии, предлагает курсы по современной технологии набрызгбетона для устранения недостатков в строительстве. Существуют специальные курсы повышения квалификации для строителей и подрядчиков.

11. Время и экономика

11.1 Образец расчета

Основные причины использования мокрого способа SFRS были перечислены выше. При оценке экономических факторов чрезвычайно важно отойти от сосредоточения на частичных составляющих общих затратах, как затраты на оборудование или стоимость бетонной смеси. Как видно из опыта, когда включаются все затраты, можно существенно уменьшить затраты средств и времени для проекта в целом. Расчет в качестве примера с использованием цифровых данных на основе опыта, может продемонстрировать эти отношения.

Примером служит тоннель 60м², длиной 2000 м, разработка производилась буро-взрывным способом, длина заходки – 4 м, толщина нанесенного на цикл набрызгбетона -100мм. Стоимость определена исходя из европейского уровня цен в Швейцарских франках. Отскок сухой смеси составляет 30% при сухом способе и 10% при мокром способе. Итоговые цифры представлены на рисунке 94.

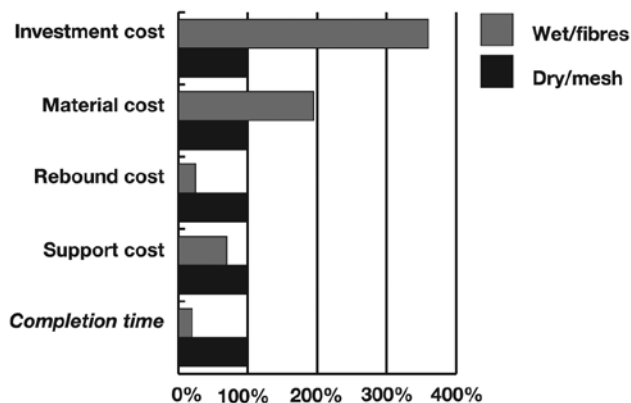


Рисунок 94: Сравнение двух вариантов мокрый способ/стальные фибры и сухой способ/сварные сетки

Investment cost- Стоимость инвестиций

Material cost- Затраты на материалы

Rebound cost- Расходы при отскоке материала

Support cost- Стоимость крепи
Completion time- Время на выполнение работ
Wet /fibres- Мокрый способ/фибры
Dry /mesh- Сухой способ / сетки

Стоимость инвестиций - это затраты на начальном этапе строительства на комплектацию оборудованием. Затраты на материалы подразумевают прямые затраты всех составляющих элементов смеси, включая ускоритель, вводимый у сопла. Расходы при отскоке включают в себя потери материала, расходы на дополнительный набрызгбетон, выполняемый для компенсации потерь материала от отскока. Расходы на крепление подразумевают все прямые затраты с использованием набрызгбетона и армирования, не учитывая затрат на применение оснащения, дополнительных работников, задействованных в строительстве, задержек и т.д.

Если можно оценить работу, производимую за смену, в 400 Шв. франков, общая стоимость мокрого набрызгбетона, армированного стальными фибрами, составляет 42% от общей стоимости набрызгбетона при сухом способе, армированного сварными сетками. Главная причина такого резкого падения в цене указана на рисунке 88 (время выполнения): для нанесения набрызгбетона, армированного стальными фибрами, мокрым способом, необходимо только 17% от времени, необходимого для набрызгбетона сухим способом, армированного

сварными сетками, для завершения крепления.

Рисунок 94 показывает возможное снижение затрат для подрядчиков. Наблюдается большая экономия для заказчиков (более раннее начало эксплуатации). Поэтому в первую очередь заказчики сталкиваются с последствиями неоптимальных решений.

11.2 Заключение

Технология набрызгбетона по мокрой технологии достигла этапа развития, который позволяет производить высококачественный долговечный набрызгбетон для постоянного крепления. Имеются дальнейшие немаловажные технические преимущества, когда необходимо армирование и использование стальных фибр.

Возможная экономия времени и затрат при использовании SFRS метода и набрызгбетона по мокрой технологии в качестве постоянного крепления в большинстве случаев весьма значительна, а иногда поразительна. Следует удостовериться, что проектные способы позволяют такие решения в качестве постоянной крепи.

Существует ряд других важных преимуществ, как например гибкая система материально-технического обеспечения, безопасность рабочей среды и благоприятные условия окружающей среды, которые подводят итог в пользу причин использования технологии мокрого набрызгбетона. Сегодня это уже утверждение, многократно доказанное.

12. Перспективы:

Потенциал применения набрызгбетона

Сегодня набрызгбетон большей частью используется при креплении горных выработок, где его применение стало решением множества проблем и стало необходимостью. Наблюдается четкая тенденция роста применения набрызгбетона в тоннелестроении в крупномасштабных проектах. Только в Европе общий объем составляет более 3 млн. кубических метров в год. Мы считаем, что эта возрастающая тенденция продолжится на протяжении нескольких лет. Можно подвести итоги тенденций в этой сфере на международном уровне следующим образом:

Технология мокрого набрызгбетонирования достигла этапа развития, который позволяет производить высококачественный, долговечный набрызгбетон для постоянного крепления. В распоряжении имеются дальнейшие немаловажные технические преимущества, когда необходимо армирование и используются стальные фибры.

Потенциал экономии времени и затрат при использовании набрызгбетона мокрого способа с армированием стальными фибрами в качестве постоянного крепления в большинстве случаев весьма значителен, а иногда поразителен. Следует удостовериться, что проектные способы позволяют такие решения в качестве постоянной крепи.

Существует ряд других важных преимуществ, как например гибкая система материально-технического обеспечения, безопасность рабочей среды и благоприятные условия окружающей среды, которые подводят итог в пользу причин использования технологии мокрого набрызгбетона. Сегодня это уже утверждение, многократно доказанное.

- применение мокрого способа набрызгбетонирования в сравнении с сухим способом является доминирующим уже в настоящее время с четко выраженной тенденцией дальнейшего роста
- в целом сварные сетки все еще применяются при армировании, но применение стальных фибр для армирования значительно возрастает
- наблюдается выраженная тенденция большей механизации, автоматизации и более высокой производительности набрызгбетонных работ
- больше внимания уделяется безопасности в процессе работы, окружающей среде, в результате чего устанавливаются более

строгие законы и правила

- набрызгбетон все еще главным образом используется для временного крепления, но интерес к применению набрызгбетона высокого качества для постоянных обделок возрастает.

За последнее время набрызгбетон по мокрой технологии нашел широкое применение и в горной промышленности. Это отрасль промышленности крупного масштаба, требующая с одной стороны высоких стандартов безопасности для горнорабочих и с другой стороны высокой производительности для компенсации расходов при извлечении минералов и руд из недр Земли. Горное дело предъявляет сложные требования к набрызгбетону и его применению, например ограничения, связанные с материально-техническим обеспечением и температурой, которые можно устранить с использованием современных добавок и технологического оборудования.

В качестве строительного метода набрызгбетон может найти более широкое применение, но в настоящее время его применение очень ограничено. Одним из преимуществ набрызгбетона является гибкость и быстрота его применения. Бетон, укладываемый с помощью шланга на горную породу или на другие поверхности, может изменяться с точки зрения архитектуры и конструкции.

Мы хотели бы обратиться ко всем подрядчикам, архитекторам и консультантам с утверждением: существует бетонная технология, секреты производства, оборудование и материалы, которые можно использовать для расширения области применения набрызгбетона, так как набрызгбетон является строительным методом будущего.

Использованная литература

Ч.Аллен, « Торкретбетонные смеси с контролируемой гидратацией в Инфраструктурных Проектах ». Роль бетона, Институт бетона в Австралии, Сидней, 1993г., Май

М.Аннетт и Н.Дж.Варли « Высокопроизводительный набрызгбетон в лондонских глинах.» Труды Второго Международного Симпозиума по набрызгбетону для подземного крепления, Норвегия, 1996г., Сентябрь

Н.Бартон « Набрызгбетон - Свойства, Проектирование и Применение», под редакцией С. Остин и П. Робинс, Лондон, 1995, глава 8

Дж. Дрс. Университетский Доклад: Ускорители на базе алюминатов

EFNARC, Спецификация для набрызгбетона, 1996

К.Гаршол, Норвегия, Практическое применение набрызгбетона в креплении горных выработок

Дж. Холмгерн *Bergforstärkning med sprutbetong, Jarfalla, Швеция, 1992г.*

Ф.Д. Кинни, «Повторное использование возвращенного бетона» контролем гидратации: Характеристика Новой Концепции: -Труды Третьей Международной Конференции, Суперпластификаторы и другие химические примеси в бетоне, Оттава, Канада, 1989г.

С. Кребс, Университетский Доклад: Оборудование для набрызгбетона, оборудование MEYCO® (BASF)

(BASF) «Технический Доклад,128, Система Delvo» , Кливленд, США, 1988г.

Master Builders Technologies Журнал « MEYCO®» номер № 1, Цюрих, Швейцария. 1991 г, Июль

Master Builders Technologies , Журнал « MEYCO®» номер № 2, Цюрих, Швейцария. 1991г., Декабрь

*T. Мелби « Neue Generation von Zusatzmitteln fur Spritzbeton»,
Spritzbeton Technologie 1993г. Universitat Innsbruck,
Австрия ,1993г., Январь*

*T. Мелби , « Передовые Торкретбетонные Добавки», Конферен-
ция по Набрызгбетону, Университет Brunel,
Лондон, Великобритания, 1993г., Сентябрь*

*Норвежская Ассоциация по Бетону - Комитет по набрызгбетону.
Техническая Спецификация и Директивы:
Набрызгбетон в креплении горных выработок*

*О.А.Опсал ,» Торкретбетон, армированный стальнымифибрами,
в креплении горных выработок»,
BML- Доклад 82.205, Отдел Строительных Материалов, Нор-
вежский Институт Технологии, Trondheim,
1983г., Сентябрь*

*В.с. Рамачандран, « Справочник по бетонным добавкам» Издание
Noyes , 1984г. 116-172 стр.*

*Testor,M «Vergleich umweltneutraler Spritzbetontechnologien im
Baustellenversuch»
Завершающий доклад из Institut fur Baustofflehre und Materialprufung
, Университет Innsbruck. 1996г.*

