

песок  $\gamma_n = 1,4 \text{ кг/дм}^3$ ;  $\rho_n = 2,65 \text{ кг/м}^3$ ;

щебень  $\gamma_{щ} = 1,5 \text{ кг/дм}^3$ ;  $\rho_{щ} = 2,65 \text{ кг/м}^3$ ;

цемент  $\rho_c = 2,607 \text{ кг/дм}^3$ ;  $R_c = 300 \text{ МПа}$ ;

ОК = 5 см, квалитеты песка – 1,1, щебня – 0,6, цемента – 1,25.

Бетон М300,  $K_u = 0,95$ .

Параметры прочности  $A = 0,58$ ,  $B = 0,55$ .

Минимальный расход цемента того же состава без комплексного модификатора составляет 324 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона, т.е. на 9,89% выше без добавочного бетона.

#### ВЫВОДЫ:

- наибольшую эффективность комплексного модификатора рекомендуется определить по "глубине пластификации", которую характеризует снижение водопотребности цементного теста;
- разработан метод проектирования состава бетона, учитывающий концентрацию комплексного модификатора;
- установлено снижение расхода цемента до % по сравнению с непластифицированным составом.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пунагин В.Н. Основы проектирования составов бетона. – Ташкент: Узбекистан, 1983. – 198 с.
2. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. – Київ, 2003. – 468 с.
3. Никифоров А.П. Тяжелые бетоны на шлакосодержащих вяжущих с комплексными модификаторами. – Днепропетровск: Пороги, 1996. – 231 с.
4. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси. – Л.: Стройиздат, 1972. – 218 с.
5. Рейнер М. Деформация, течение. Введение в реологию. – М.: Госстройтехиздат, 1975. – 416 с.

#### УДК 666.97.03

##### ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.Н. Пишынко, д.т.н., профессор\*, Н.Н. Руденко, д.т.н., профессор\*\*,  
В.В. Пунагин, к.т.н., доцент\*\*, Д.В. Руденко\*, Ю.В. Пунагина\*\*,  
Н.И. Белошицкая\*\**

*\*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна; \*\*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск*

В современных условиях эксплуатации сооружений специального назначения бетонные и железобетонные конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред, снижающих эксплуатационные

характеристики. С целью обеспечения долговечности конструкций целесообразно наносить на поверхность защитный слой из специально разработанной бетонной смеси на активированном вяжущем. Разработанная технология защиты конструкций сооружений специального назначения основана на использовании торкретбетонных смесей.

Торкретирование представляет собой процесс нанесения в струе сжатого воздуха бетонных или растворных смесей на поверхность. Торкретирование применяется при невозможности применения традиционных способов бетонирования, например, при изготовлении тонкостенных конструктивных элементов, для получения материала с высокими эксплуатационными свойствами, а также при ремонте различных сооружений, где необходима высокая прочность сцепления нового бетона с ремонтируемой поверхностью.

Впервые торкретирование сухими смесями предложено фирмой "Cement gun Company", в 1910 году экспонировавшей в Нью-Йорке специально разработанное оборудование [1].

Основу технологии торкретирования сухими смесями составляют следующие операции: загрузка приготовленной смеси в агрегат для ее пневмотранспорта; дозированная подача сухой смеси к разгрузочному устройству агрегата с одновременным подводом к нему сжатого воздуха; транспортирование сухой смеси в струе сжатого воздуха по шлангам к концевой насадке-соплу; дозированная подача в сопло воды под давлением, обеспечивающая перемешивание раствора в сопле; нанесение на торкретируемую поверхность факела готовой смеси, выходящего из сопла с высокой скоростью.

Такая технология имеет ряд недостатков, основными из которых являются следующие. Неравномерное поступление в сопло сухой смеси вследствие меняющегося сопротивления в шлангах при различных их изгибах, пробках приводит к необходимости постоянного управления расходом воды. При уменьшении расхода сухой смеси вода размывает ранее нанесенный слой торкрета, а при избыточном расходе сухой смеси имеет место пыление. Приготовленная сухая смесь контактирует с водой в сопле торкрет-аппарата всего лишь секунды, при этом цементные частицы не в состоянии в полном объеме адсорбировать воду, что приводит к недостаточному использованию вяжущего потенциала цемента. По этой же причине увеличивается отскок заполнителя от торкретируемой поверхности, величина которого составляет 10...30%. С увеличением отскока фактическое содержание цемента в нанесенном торкрете из сухих смесей составляет 600...800 кг/м<sup>3</sup>, что приводит к значительному перерасходу дорогостоящего компонента.

С целью устранения недостатков способа торкретирования сухими смесями в середине 60-х годов XX в. получил развитие способ торкретирования готовыми смесями, при котором появилась возможность контролировать состав наносимой смеси. Принцип торкретирования готовыми смесями состоит в следующем. В отдельном смесителе готовится растворная или бетонная смесь, после чего производится ее загрузка в нагнетатель, откуда смесь движется по шлангам к соплу. Одновременно к

сопла подается сжатый воздух, который эжектирует поступающую смесь для увеличения скорости выхода ее из сопла. Затем на торкретируемую поверхность наносится факел готовой смеси.

Несмотря на некоторые преимущества способа торкретирования готовыми смесями, снижение количества отскока не было достигнуто, наоборот, в случае применения крупного заполнителя отскок увеличивается. К числу недостатков способа торкретирования готовыми смесями относится также склонность к образованию воздушных пробок в трубопроводе, что приводит к нарушению технологии торкретирования.

Особенностью рассмотренных способов торкретирования является отскок, во многом определяющий требования к материалам для торкрета, его составу, правилам производства работ и непосредственно влияющий на свойства затвердевшего торкретбетона. Отскок представляет собой материал, отраженный от торкретируемой поверхности за счет упругой энергии удара в нее струи наносимого материала. Величина отскока и его состав определяются упругостью торкретируемой поверхности и наносимого материала. В начале торкретирования при ударе факела торкрет-массы в достаточно жесткую поверхность, скальную или бетонную, количество отраженного материала больше, чем в последующей фазе работ при ударе струи в значительно менее упругий слой свеженанесенного торкрета.

Состав отскока определяется в основном упругостью частиц наносимого материала. Цементное тесто в составе отскока составляет 10-40% от содержания в исходной смеси. С увеличением отскока фактическое содержание цемента в нанесенном торкрете из сухих смесей составляет 600...800 кг/м<sup>3</sup>, что приводит к значительному перерасходу дорогостоящего компонента. Увеличение количества песка в составе исходной смеси повышает его содержание в отскоке. Отскок возрастает при торкретировании по арматурной сетке вследствие ее вибрации в процессе нанесения смеси. Материал отскока относится к потерям [2].

Для сокращения времени схватывания и уменьшения количества отскока в готовые смеси вводятся добавки - ускорители твердения. Однако применение порошкообразных добавок осложняется их высокой гигроскопичностью, что приводит к налипанию на стенки питателя и невозможности точного дозирования компонентов.

Очевидно, что существующие технологии торкретирования, принципиально отличающиеся друг от друга - торкретирование сухими смесями и торкретирование готовыми смесями - не могут решить все перечисленные проблемы [3].

Недостатки современной технологии торкретбетона значительно ухудшают его свойства и одновременно увеличивают себестоимость. Как известно, прочность горных пород, из которых помолот и обжигом получают цементы, достигает 200 МПа. Прочность цементного камня идентичного минералогического состава в 6...8 раз меньше, еще ниже прочность бетона. Это объясняется в основном низкой объемной концентрацией гидратных новообразований в единице объема материала вследствие недоиспользования вяжущего потенциала цемента.

Э. Фрейсине показал, что повышение степени уплотнения бетона с одновременной активацией процессов гидратации позволяет увеличить прочность бетона в 3...4 раза - до 100 МПа. При этом концентрация твердой фазы в цементном камне составляла около 80%, а при ее увеличении до 100% прочность может возрасти до 170...180 МПа.

Современная технология даже путем предельно возможного уменьшения В/Ц не может существенно повысить объемную концентрацию твердого вещества. Однако на значительное повышение прочности торкретбетона влияет не только количественный фактор, но в большей степени качественный состав новообразований, поэтому в доведении концентрации твердой фазы до 100% нет необходимости.

Попытки получения большей плотности цементного камня привели к снижению плотности торкретбетона за счет увеличения отскока. Следовательно, получился парадокс - малоплотный торкретбетон содержит высокоплотный цементный камень. Поэтому в настоящее время получение высокопрочных торкретбетонных покрытий практикуется применением смесей с предельно низкими значениями В/Ц. Однако это приводит к необходимости существенно увеличивать расход цемента в единице объема отскока. Избыток наиболее дорогого и дефицитного компонента, служащего пластификатором, снижает строительные свойства торкрет-бетона, что особенно опасно в экстремальных условиях, так как вызывает значительные объемные деформации бетона, повышает собственные напряжения, сопровождающиеся трещинообразованием и снижением долговечности изделий и конструкций.

Современная технология бетона, по существу, не способна преодолеть существующее противоречие между прочностью бетона и вязкостью бетонной смеси. Применение различных, в том числе комплексных, добавок лишь частично улучшает положение. Как известно, с увеличением степени пластификации снижается прочность бетона. Следовательно, применение химических добавок, прогрессивное с точки зрения совершенствования процессов гидратации и структурообразования вяжущего, не способствует кардинальному решению технологической проблемы получения высокопрочных и высокоплотных изделий.

К сожалению, при современных технологиях система вяжущее-вода-заполнители никогда не достигает равновесного состояния, так как в ней не прекращается выделение, накопление и преобразование химических соединений, особенно в условиях непосредственного влияния внешней среды.

Таким образом, современные методы улучшения свойств торкретбетона путем увеличения расхода цемента, применения химических добавок не могут ни в комплексе, ни по отдельности разрешить основные противоречия технологии бетона. При этом важно отметить известное явление неполного использования вяжущих свойств цемента. Опыты показали, что в торкретбетонной смеси традиционного приготовления цементные частицы диаметром около 20 мкм могут гидратироваться не более чем на 60% первоначального объема.

С увеличением степени помола цементного клинкера и уменьшением размера частиц цемента степень его гидратации возрастает очень медленно. Более того, И.Н. Ахвердов [4] показал, что увеличение удельной поверхности цемента свыше  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$  приводит к его флокуляции и, следовательно, снижению степени гидратации. Степень гидратации уменьшается также вследствие значительной при современной технологии продолжительности процесса изготовления бетонных и железобетонных изделий и обезвоживания бетона от влияния окружающей среды. Следовательно, можно утверждать, что даже при создании благоприятных условий гидратации не более 60% объема цемента участвует в образовании "цементного клея" [5]. Остальной объем цемента является лишь инертным наполнителем бетона. Это явление "микробетона" [6] теоретически обосновано и известно под названием "клинкерного фонда" бетона.

По мнению некоторых исследователей, содержание в вяжущем негидратированных зерен цемента может способствовать возобновлению гидратации при повторных увлажнении бетона [7]. Однако явление самозалечивания микротрещин бетона связано с большими трудностями, если учесть, что почти 40% цемента не проявляет своих вяжущих свойств в начальный период формирования структуры бетона [8, 9].

Решение отмеченных проблем возможно с помощью пневмоструйного способа бетонирования активированной цементной системой [10]. Значительное повышение прочности торкретбетона на основе активированной цементной системы объясняется несколькими причинами. Следует отметить, что начало схватывания смеси происходит почти мгновенно вследствие наличия активационного эффекта, что также способствует повышенной адгезии к торкретируемой поверхности. При этом возможно снижение количества отскока на вертикальных поверхностях до 6...7%, на потолочных поверхностях - до 8...9% [11].

Разработанный способ нанесения торкретбетона на активированном вяжущем позволяет производить ремонт обводненных гидротехнических и транспортных сооружений. Как известно, такие виды работ являются сложными и дорогостоящими вследствие необходимости применения специальных видов вяжущего, полимеров и др. Пневмоструйный способ нанесения защитного слоя на поврежденную поверхность характеризуется относительно низкой себестоимостью, а также высокими качественными показателями. Технология торкретирования при ремонте и восстановлении транспортных и гидротехнических сооружений позволяющая повысить их эксплуатационные свойства с минимальным расходом вяжущего при сокращении продолжительности производственных процессов.

В основу технологии положена физико-химическая активация вяжущего, производимая в реакторе-активаторе. Реактор-активатор представляет собой цилиндрическую емкость, снабженную замкнутым трубопроводом [12]. В реактор-активатор подаются цемент и подогретая вода в количестве 60...70% от расчетного. Тщательное перемешивание цементного теста производится сжатым воздухом. В отдельной емкости производится приготовление органо-минерального комплекса (ОМК) на основе остального количества воды.

Введение ОМК в реактор-активатор производится в определенные моменты [11].

Активированный цементный клей сжатым воздухом подается к форсунке струйного смесителя. К другой форсунке струйного смесителя подается расчетное количество мелкого заполнителя. Направление движения компонентов выбирается таким образом, чтобы струи активированного вяжущего и заполнителя пересекались под определенным углом. При этом заполнитель перемешивается с вяжущим, а поверхность частиц заполнителя торкретируется цементным клеем.

Образованная в струйном смесителе смесь из заполнителя и активированной цементной системы выталкивается струей сжатого воздуха из смесительной камеры и направляется на участок поверхности нанесения.

Для торкретирования смесями на активированном вяжущем использован плунжерный прямоточный растворонасос периодического действия с пневмоприставкой для образования растворовоздушной смеси.

Опытные составы торкретбетона на активированном вяжущем представлены в табл. 1.

*Таблица 1*  
*Опытные составы торкретбетона на активированном вяжущем*

Марка цемента	Состав торкретбетона, кг/м <sup>3</sup>					Прочность при сжатии, МПа
	цемент	песок	ОМК	вода	В/Ц	
400	374	1058	71,13	161	0,43	67,8
	348	1044	66,12	143	0,41	64,2
	332	1006	63,20	159	0,48	66,4
500	357	1027	71,42	157	0,44	72,9
	330	1032	66,08	155	0,47	74,6
	315	1015	63,11	132	0,42	72,1

Натурные наблюдения за восстановленным участком показали хорошее сцепление торкрета на активированном вяжущем с поверхностью нанесения. При этом количество отскока не превышало 6,5%. Экономическая эффективность разработанного торкретбетона заключается в возможности снижения расхода цемента, снижении отскока, а также повышении эксплуатационных характеристик покрытия.

Разработанная технология торкретирования позволяет повысить производительность серийно выпускаемых торкрет-установок; сократить обслуживающий персонал; сократить расходы при транспортировании и подготовке оборудования к работе; обеспечить надежность и безопасность при работе торкрет-установки; механизировать операции по загрузке мелкого заполнителя; обеспечить механизированное дозирование цемента и органоминерального комплекса; повысить качество торкретных работ; улучшить эксплуатационные свойства торкретбетона.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. – М.: Стройиздат, 1991. – 576 с.
2. Березовский Б.А., Евдокимов Н.И., Жадановский Б.В. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1981. – 335 с.
3. Красновский Б.М., Сагадеев Р.А. Монолитный бетон на индустриальной основе. – М.: Знание, 1986. – 64 с.
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
5. Френкель И.М. Технические основы и расчет состава бетона. – М.: Госстройиздат, 1961. – 267 с.
6. Юнг Н.В. Технология вяжущих веществ. – М.: Госстройиздат, 1962 – 367 с.
7. Шестоперов С.В. Долговечность бетонов транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1966. – 278 с.
8. Акопян А.А. Химическая термодинамика. – М.: Высшая школа, 1963. – 456 с.
9. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. Долговечность шлакощелочного бетона. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
10. Пат. 34366 А UA, МПК 6 C04B40/00. Спосіб активації цементної в'язучої системи/Пшінько О.М., Таран А.М., Пунагін В.М., Руденко Н.М., Краснюк А.В., Громова О.В.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 99063686; Заявл. 30.06.99; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. – 3 с.
11. Руденко Н.Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 1999. – 260 с.
12. Пат. 37980 А UA, МПК 7 B28C5/46. Установка для активації в'язучої суспензії/О.М. Пшінько, В.М. Пунагін, Н.М. Руденко, В.О. Герасименко; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. - № 2000052724; Заявл. 15.05.2000; Опубл. 15.05. 2001; Бюл. № 4. – 3 с.

УДК 624.012.045:331.422:434

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ

*Н.В.Савицкий, д.т.н., проф, А.С.Беликов, д.т.н., проф.,*

*В.С. Магала, к.т.н., доц., Е.В. Рабич, к.т.н*

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

**Проблема** роста техногенного воздействия на жизнь и здоровье людей решается в снижении негативных факторов в процессе жизнедеятельности. Формирование световой среды в производственных и жилых помещениях производится, в основном, за счет искусственного освещения. Рост