

докладов Международной научно-технической конференции (Минск, 25–26 мая 2005 г.). – Минск: БГТУ, 2005. – С. 146–148.

4. Батяновский Э.И., Иванова Е.И., Осос Р.Ф. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона // Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – Минск: 2006. – № 3(6). – С. 7–17.

5. Марцинкевич В.Л., Дыдышко А.С. Энергосберегающие технологии производства бетона. – Минск: 2006. – 283 с.

6. Протько Н.С. Беспрогревная и малоэнергоёмкая технология производства бетонных и железобетонных изделий с применением полиметаллического водного концентрата: Автореферат диссертации канд. техн. наук: 05.23.05 / Белорусская государственная политехническая академия. – Минск: 2001. – 20 с.

7. Марко, О.Ю. Кинетика твердения бетона с наноглеродной добавкой УКД–1 в варианте беспрогревной технологии / О.Ю. Марко, Э.И. Батяновский // Наука и техника. 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 271–280.

УДК 624.012.45

ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ

ПОЛЕЙКО Н. Л., ЛЕОНОВИЧ С. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В последние годы возрос интерес к применению при реконструкции многокомпонентных комплексных добавок, которые позволяют более эффективно, чем однокомпонентные воздействовать на технологические и физико-механические показатели бетона и не обладают недостатками, нередко присущими их отдельным составляющим.

Отчетные данные свидетельствуют о том, что при рациональном составлении компонентов комплексной добавки удастся реализовать синергетический эффект их совместного введения. Примером

могут служить комплексные добавки на основе электролитов и пластификаторов, такие как СН + С-3, СН + ЛСТ, С-3 + ННХК и т. д.

Применение комплексных добавок позволяет применять при производстве сборного железобетона более жесткие режимы тепловой обработки, экономить теплоносители при использовании низкотемпературных режимов. В монолитном бетоне использование комплексных модификаторов особенно эффективно для бетонов, твердеющих при отрицательных температурах.

Основными преимуществами комплексных модификаторов в сравнении с однокомпонентными являются:

- повышение экономии цемента, достигающее 12–15 %;
- возможность повышения производительности технологических линий на 20–40 % за счет ускорения твердения бетона;
- возможность при неизменной производительности получить экономию теплоносителей за счет сокращения длительности изотермического выдерживания, снижение температуры тепловой обработки и использование термосных режимов твердения.

В настоящей статье рассмотрены результаты проведенных исследований технологических и физико-механических свойств тяжелого бетона с комплексными добавками «Универсал П-2», «Универсал П-4», «Хидетал П-5» и «Хидетал П-7» производства ООО «СКТ-Стандарт» Российской Федерации.

При выполнении исследований руководствовались требованиями действующих нормативных документов по оценке эффективности добавок [1, 2].

Для проведения исследований использовались следующие материалы.

Вяжущее. В качестве вяжущего использовался портландцемент ПЦ 500-Д0 Белорусского цементного завода, ПЦ 550-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы», ПЦ-500-Д0 Воскресенского цементного завода.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя использовался песок высшего качества по ГОСТ 836 с $M_k = 2,43$ месторождения «Крапужино», который характеризуется минимальным содержанием пылевидных частиц.

Крупный заполнитель. Щебень гранитный фракции 5–20 мм по ГОСТ 8269.0–87 производства ПО «Гранит» г. п. Микашевичи.

При проведении исследований использовались четыре вида комплексных добавок. Основные физико-технические свойства применяемых добавок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физико-технические свойства комплексных химических добавок

| Наименование показателя | Вид добавки | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | Универсал П-2 | Универсал П-4 | Хидетал П-5 | Хидетал П-7 |
| Внешний вид | Порошок светло-коричневого цвета с белыми включениями | Порошок темно-коричневого цвета с белыми включениями | Порошок светло-коричневого цвета с белыми включениями | Порошок белого цвета с коричневыми включениями |
| Массовая доля сухих веществ, % | 98,0 | 96,0 | 99,0 | 99,5 |
| Водородный показатель (РН) | 5,2 | 4,9 | 5,5 | 5,1 |
| Насыпная плотность, кг/м ³ | 765 | 780 | 765 | 770 |

Основными технологическими свойствами бетонных смесей являются: подвижность или удобоукладываемость, водопотребность для получения равноподвижных смесей при введении добавок, объем вовлеченного воздуха при приготовлении бетонной смеси и жизнеспособность (потеря подвижности) при введении добавки.

Для определения влияния комплексных добавок на подвижность готовились бетонные смеси без добавки с маркой по подвижности П1 и бетонная смесь с комплексными добавками. Оптимальная дозировка добавок принималась по данным, предварительно полученным при испытаниях на снижение водопотребности цементного теста с добавкой. Использовался следующий состав бетонной смеси, кг/м³: цемент (Волковвысский) – 350, песок – 710, щебень – 1170 кг, вода – до подвижности П1 (примерно 170 л). Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение подвижности бетонных смесей при введении комплексных добавок

| Наименование добавки | К-во, % от массы цемента | Подвижность (ОК) см (марка по подвижности) | |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| | | Контрольный состав | Основной состав |
| Универсал П-2 | 0,6 | 3,0 (П1) | 16,0 (П4) |
| Универсал П-4 | 0,8 | 3,5 (П1) | 21,5 (П5) |
| Хидетал П-5 | 0,6 | 4,0 (П1) | 15,0 (П4) |
| Хидетал П-7 | 0,5 | 3,0 (П1) | 10,0 (П3) |

Анализ данных табл. 2 показывает, что наиболее сильным пластификатором является добавка «Универсал П-4», которую по классификации [2] можно отнести к пластификаторам первой группы. К второй группе пластификаторов можно отнести добавки «Универсал П-2», «Хидетал П-5», а к третьей «Хидетал П-7».

Для оценки эффективности комплексных добавок по сокращению водопотребности для получения равноподвижных бетонных смесей использовались два состава бетонных смесей с расходом цемента 350 кг/м^3 и 500 кг/м^3 . Дозировка добавок принималась по табл. 2, подвижность бетонных смесей с добавкой и без добавки составляла от 3,0 до 4,0 см. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние комплексных добавок на снижение водопотребности бетонных смесей

| Наименование добавки | Снижение количества воды, % | |
|----------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | Состав с расходом цемента 350 кг/м^3 | Состав с расходом цемента 500 кг/м^3 |
| Универсал П-2 | 8,3 | 12,5 |
| Универсал П-4 | 14,6 | 17,0 |
| Хидетал П-5 | 7,4 | 9,2 |
| Хидетал П-7 | 5,0 | 7,1 |

Данные табл. 3 подтверждают ранее полученные результаты по изменению подвижности бетонных смесей при введении комплексных добавок, так наибольшее снижение количества воды установлено при введении 0,8 % добавки «Универсал П-4», в то время как

добавка «Хидетал П-7» позволяет снизить количество вода затворения на среднем расходе цемента (350 кг/м³) всего на 5,0 %.

Способность комплексных добавок оказывать влияние на объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси оценивалась при приготовлении бетонной смеси в лабораторной бетономешалке. Время перемешивания составляло 3 минуты с момента добавления требуемого количества воды. Использовался следующий состав бетона, кг/м³: цемент – 350, песок – 730, щебень – 1180, вода – 170. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние комплексных добавок на объем вовлеченного воздуха при приготовлении бетонной смеси

| Объем вовлеченного воздуха, % для бетона | | | | |
|------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Без добавок | С добавкой «Универсал П-2» | С добавкой «Универсал П-4» | С добавкой «Хидетал П-5» | С добавкой «Хидетал П-7» |
| 0,5 | 3,0 | 4,5 | 2,5 | 1,8 |

Наибольший объем воздуха, вовлекаемого в бетонную смесь, наблюдается при введении комплексной добавки «Универсал П-4».

Жизнеспособность бетонных смесей при введении комплексных добавок оценивалась по изменению подвижности с течением времени. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние комплексных добавок на жизнеспособность бетонных смесей

| Вид добавки | Подвижность бетонной смеси, см | | | | |
|---------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Начальная | Через 15 мин | Через 30 мин | Через 45 мин | Через 60 мин |
| Универсал П-2 | 16,5 | 12,0 | 8,5 | 8,0 | 8,0 |
| Универсал П-4 | 20,0 | 15,5 | 11,0 | 10,0 | 9,5 |
| Хидетал П-5 | 14,0 | 12,0 | 10,0 | 9,5 | 9,0 |
| Хидетал П-7 | 9,5 | 8,0 | 7,0 | 6,5 | 6,5 |

Анализируя данные табл. 5 можно сделать вывод о том, что при увеличении пластифицирующего эффекта от введения добавки снижается жизнеспособность бетонной смеси, но во всех случаях

исследуемые комплексные добавки соответствуют требованиям нормативных документов, в частности [2], где устанавливают потерю подвижности не более чем в два раза через 45 минут с момента затворения бетонной смеси.

Исследования влияния комплексных добавок на прочностные свойства тяжелого бетона проводились на образцах-кубах с ребром 100 мм, изготовленных из бетонной смеси с расходом цемента 250, 350 и 450 кг/м³, на портландцементе М550 Волковыского завода и которые твердели в нормально влажностных условиях. Образцы испытывались в возрасте 1,3,7 и 28 суток. Данные о влиянии вида комплексной добавки на изменение прочности бетонных образцов на сжатие в различные сроки твердения приведены в табл. 6.

Анализ данных представленных в таблице 6 показывает, что при введении комплексных добавок без изменения количества воды прочность бетона в возрасте 28 суток практически не изменяется, отмечено незначительное снижение прочности в 28 суток при введении добавки «Универсал П-4». Для добавок «Хидетал П-5», а особенно для добавки «Хидетал П-7» характерно незначительное повышение прочности бетона в первые сутки твердения при неизменном количестве воды. Влияние добавок на прочностные показатели бетонов при снижении водоцементного отношения за счет пластификации бетонной смеси показывают, что наиболее эффективными добавками ускорителями твердения являются «Хидетал П-5» и «Хидетал П-7», хотя с точки зрения пластифицирующего эффекта эти добавки уступают «Универсал П-2» и «Универсал П-4».

С целью изучения влияния комплексных добавок на морозостойкость и водонепроницаемость бетонов были изготовлены опытные образцы на составе бетона с расходом цемента 350 кг/м³. В качестве вяжущего использовался цемент ПЦ550-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы». Для сравнения была изготовлена серия образцов без добавок. Образцы перед испытаниями твердели в течение 28 суток в камере нормально-влажностного твердения. Испытания на морозостойкость образцов по третьему ускоренному методу [3] с замораживанием образцов при температуре минус 50 °С и 5 % растворе хлористого натрия. Оценка результатов проводилась по коэффициенту морозостойкости определенному после 20 ускоренных циклов замораживания-оттаивания.

Таблица 6

Влияние комплексных добавок на прочность при сжатии
образцов тяжелого бетона

| Вид и количество добавки | Расход цемента, кг/м ³ | Подвижность (ОК), см | Относительная прочность на сжатие образцов, % от 28 суток б/д, в возрасте | | | |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|
| | | | 1 сут | 3 сут | 7 сут | 28 сут |
| Без добавки | 250 | 1,0 | 16,6 | 61,0 | 80,8 | 100,0 |
| | 350 | 3,5 | 29,8 | 62,8 | 83,9 | 100,0 |
| | 450 | 3,0 | 29,7 | 59,4 | 86,9 | 100,0 |
| «Универсал П-2» | 250 | 2,0 | 50,2 | 70,0 | 84,3 | 93,6 |
| | | 10,5 | 26,3 | 58,3 | 82,7 | 100,0 |
| | 350 | 2,5 | 50,9 | 73,2 | 89,3 | 103,1 |
| | | 16,0 | 28,3 | 65,7 | 82,3 | 98,4 |
| | 450 | 3,0 | 52,4 | 71,8 | 89,9 | 94,9 |
| | | 18,0 | 27,7 | 60,6 | 89,1 | 101,0 |
| «Универсал П-4» | 250 | 3,0 | 46,8 | 63,7 | 78,6 | 92,9 |
| | | 13,0 | 22,5 | 46,1 | 70,4 | 82,4 |
| | 350 | 4,0 | 40,8 | 68,1 | 85,9 | 95,1 |
| | | 21,0 | 21,0 | 57,1 | 74,3 | 92,7 |
| | 450 | 3,0 | 44,2 | 64,8 | 88,2 | 96,4 |
| | | 23,5 | 26,5 | 55,2 | 76,3 | 89,3 |
| «Хидетал П-5» | 250 | 3,0 | 54,3 | 75,3 | 92,1 | 97,4 |
| | | 9,0 | 28,8 | 64,4 | 78,6 | 94,7 |
| | 350 | 3,5 | 54,5 | 78,4 | 87,5 | 95,8 |
| | | 14,5 | 39,8 | 59,7 | 84,4 | 97,0 |
| | 450 | 3,5 | 52,2 | 71,3 | 90,4 | 97,1 |
| | | 15,5 | 30,7 | 61,2 | 86,3 | 98,0 |
| «Хидетал П-7» | 250 | 2,0 | 56,5 | 77,5 | 83,5 | 98,8 |
| | | 8,5 | 29,9 | 64,8 | 84,6 | 97,4 |
| | 350 | 3,0 | 57,9 | 83,3 | 113,5 | 123,6 |
| | | 10,0 | 31,9 | 63,9 | 87,5 | 100,5 |
| | 450 | 3,0 | 56,9 | 73,3 | 89,6 | 95,0 |
| | | 12,0 | 33,1 | 61,8 | 89,7 | 100,6 |

Испытания на водонепроницаемость проводились по [4] на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 150 мм.

Результаты испытаний опытных образцов на морозостойкость и водонепроницаемость представлены в табл. 7.

**Влияние комплексных добавок на морозостойкость
и водонепроницаемость тяжелого бетона**

| Наименование бетона с добавками | Водоцементное отношение бетонной смеси | Объем вовлеченного воздуха, % | Коэффициент морозостойкости $K_{мрз}$ после 20 ускоренных циклов | Водонепроницаемость, МПа |
|---------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Без добавок | 0,48 | – | 0,88 | 0,6 |
| Универсал П-2 | 0,44 | 2,8 | 0,99 | 0,6 |
| Универсал П-4 | 0,41 | 4,2 | 1,07 | 0,6 |
| Хидетал П-5 | 0,45 | 2,2 | 0,95 | 0,6 |
| Хидетал П-7 | 0,46 | 1,5 | 0,81 | 0,6 |

Анализируя данные табл. 7 можно сделать вывод о том, что при введении комплексных добавок морозостойкость бетонных образцов изменяется неоднозначно. Если сравнить полученные данные с результатами по определению количества вовлеченного воздуха при введении добавок, то картина изменения морозостойкости становится более понятной. При повышении количества вовлеченного воздуха при приготовлении бетонной смеси повышается и коэффициент морозостойкости бетона, что связано с созданием в структуре бетона дополнительной резервной пористости. Однако следует заметить, что существенного увеличения морозостойкости при введении комплексных добавок не наблюдается, даже при оптимальном содержании вовлеченного воздуха марка по морозостойкости бетона увеличивается не более чем в 1,5 раза, а для комплексных добавок, обладающих пониженным воздухововлечением, наблюдается даже некоторое снижение коэффициента морозостойкости.

Результаты по определению водонепроницаемости бетонных образцов показали, что вид вводимой добавки не оказывает влияния на изменение данного показателя.

На основании проведенных испытаний комплексных добавок можно сделать следующие основные выводы:

По основному эффекту действия испытанные добавки относятся к пластифицирующим;

По дополнительному эффекту действия добавки являются ускорителями твердения и не снижающими морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112–98.
2. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459–96.
3. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости: ГОСТ 10060.2–95.
4. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости: ГОСТ 12730.5–84.

УДК 621.762; 691.002(032)

ВЛИЯНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА

РЯБЧИКОВ П. В., БАТЯНОВСКИЙ Э. И., ЯКИМОВИЧ В. Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. С 2006 г. в БНТУ проводились системные исследования на базе кафедры «Технология бетона и строительные материалы» и ее научно-исследовательской лаборатории по направлению эффективного использования углеродных наноматериалов в строительной отрасли. В результате многочисленных экспериментов был выделен ряд углеродных нановеществ («УНМ 1», «УНМ 2», «УНМ-осадок», «УНМ-суспензия» и др.), которые отличаются веществным составом, способом получения, очистки и введения в цементные (бетонные) композиции. С помощью данных видов УНМ удалось добиться увеличения прочности (и плотности) цементного камня, а на этой основе – повышения различных физико-технических характеристик и свойств бетона.