

УДК 624.012.4; 667.629

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

О.А. КУДЁЛКО

(Коммунальное унитарное производственное  
проектно-строительное предприятие «Полоцксельстрой»)

*Представлен анализ эффективности различных добавок, в том числе пластифицирующих добавок комплексного действия, их механизм действия в зависимости от исходного сырья, а также технология использования на примере опыта массового применения модифицированных бетонных смесей в монолитном строительстве. Высокие темпы возведения зданий и сооружений, особенно жилищного назначения, требуют применения различных методов по сокращению сроков строительства, не снижая качества. Это в свою очередь вызвало массовое применение химических добавок в бетоны и растворы. В зависимости от задач, стоящих перед строителями, широкий спектр химических добавок позволяет решать как узкие задачи, так и применять добавки с универсальными возможностями. Применение добавок обеспечивает экономический эффект за счет снижения энергоемкости и ресурсосбережения за счет сокращения сроков строительства и повышения качества итогового продукта. Работа с добавками требует определенной культуры производства от работников, уровня их образованности, а также системы управления качеством работ.*

**Введение.** Современная практика строительства предполагает широкое использование химических добавок в бетоне. Не существует другого такого же эффективного, универсального и простого в использовании средства для кардинального изменения характеристик бетонной смеси и бетона, как химические добавки. В связи с интенсивным развитием строительства жилых и общественных зданий с монолитными железобетонными конструкциями наблюдается постоянное увеличение объемов применения товарного бетона. Новые конструктивные системы зданий, высокие темпы строительства в теплый и холодный периоды года, необходимость снижения ресурс- и трудоемкости возведения монолитных конструкций из бетона, в том числе и высокопрочного, требуют особого подхода к выбору химических добавок. Среди требований к качеству товарного бетона наиболее важными являются требования по обеспечению: проектного класса по прочности на сжатие в заданные сроки при различной температуре окружающей среды; заданной удобоукладываемости бетонной смеси на месте укладки при минимально возможном содержании цемента в бетоне; при необходимости возможности перекачивания бетонной смеси бетононасосами; заданной сохраняемости показателей бетонной смеси в период транспортирования; при необходимости укладки и уплотнения бетонной смеси без применения вибрационных устройств.

При производстве сборного бетона основным требованием является обеспечение требуемой отпускной прочности через 24 – 36 часов при минимальном расходе цемента и тепловой энергии и обеспечение заданной прочности в проектном возрасте. В обоих случаях нельзя обойтись без химических добавок.

**Анализ эффективности пластифицирующих добавок и модификаторов комплексного действия**  
В тяжелых, мелкозернистых и легких бетонах добавки применяются с целью:

- улучшения технологических свойств бетонной смеси, а именно: повышения удобоукладываемости перекачиваемости, снижения водо- и раствоороотделения;
- регулирования потери подвижности бетонной смеси во времени, скорости процессов схватывания, твердения и тепловыделения;
- сокращения продолжительности тепловой обработки бетона, ускорения сроков распалубки и загрузки конструкций при естественном твердении;
- повышения прочности, водо- и газонепроницаемости бетона;
- повышения морозостойкости, стойкости бетона и железобетона в различных агрессивных средах;
- повышения защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре;
- придания гидрофобных свойств поверхности бетона;
- уменьшения расхода цемента;
- экономия топливно-энергетических ресурсов.

Для удобства при использовании они разделены на несколько групп, что зафиксировано в нормативной документации разных стран. Так, по белорусскому стандарту на химические добавки пластификаторы делятся на следующие группы:

1. Регулирующие свойства бетонных смесей:

1.1. пластифицирующие:

- пластифицирующие I группы (суперпластификаторы);

- пластифицирующие II группы (сильнопластифицирующие);
  - пластифицирующие III группы (среднепластифицирующие);
  - пластифицирующие IV группы (слабопластифицирующие);
- 1.2. стабилизирующие;
  - 1.3. водоудерживающие;
  - 1.4. улучшающие перекачиваемость;
  - 1.5. регулирующие сохраняемость бетонных смесей:
    - замедляющие потерю подвижности;
    - ускоряющие потерю подвижности;
  - 1.6. поризующие:
    - воздухововлекающие;
    - газообразующие;
    - пенообразующие (для легких бетонов).
  2. Регулирующие твердение бетона:
    - ускоряющие твердение;
    - замедляющие твердение;
    - противоморозные I и II групп.
  3. Регулирующие свойства бетона:
    - кольматирующие;
    - воздухововлекающие;
    - газообразующие;
    - гидрофобизирующие I, II и III групп;
    - повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

В зависимости от количества входящих в состав добавок продуктов они подразделяются на однокомпонентные (ДО) и комплексные (ДК). По агрегатному состоянию добавки подразделяются на жидкие – Ж, пастообразные – П, твердые – Т. По химической природе добавки подразделяются на органические и неорганические. В зависимости от водородного показателя (значение рН) добавки подразделяются на кислые, нейтральные и основные [1, 2].

Известно, что сходные технологические эффекты могут достигаться за счет применения разных химических веществ. В большинстве случаев в качестве пластификаторов используются следующие соединения:

- модифицированные лигносульфонаты;
- сульфонируемые нафталинформальдегидные соединения;
- сульфированные меламинаформальдегидные соединения;
- модифицированные поликарбоксилаты, или гиперпластификаторы.

В Беларуси широко представлены химические добавки на основе лигно- и нафталинсульфонатов и их смесей. На основе лигносульфонатов изготавливаются добавки: Лигнопан Б1, Б2, Б3, Вибропор Ж35, Линамикс ЛСТМ, ЛСТ и др. Среди нафталинсульфонатов уверенно удерживает лидерство суперпластификатор С-3, также на рынке имеются пластификаторы СМ-1, СМ-2, Стахелбел, Реламикс и др.

Лигно-, нафталин- и меламинасульфонаты разработаны в 70-е годы XX века, добавки же на основе поликарбоксилатов были созданы значительно позже, в середине 80-х годов, и по своим свойствам значительно отличаются от других суперпластификаторов.

Решающим преимуществом гиперпластификаторов перед пластификаторами I – IV групп явилось то, что они, не снижая прочности бетона, обеспечивают уменьшение водопотребности бетонной смеси до 40 %. Для сравнения, суперпластификаторы снижают водопотребность лишь на 20 – 35 %.

Многолетний опыт применения поликарбонатных бетонов показал, что эффективная область их применения – это в первую очередь высококачественные бетоны, в том числе высокопрочные (С35/45 и более) и самоуплотняющиеся бетоны, характеризующиеся низким водовязущим отношением.

Высокая водоредуцирующая способность гиперпластификаторов позволяет снижать водовязущее отношение до 0,22 – 0,24, не вызывая побочных эффектов, таких как замедление набора прочности или быстрая потеря удобоукладываемости, свойственных традиционным суперпластификаторам. Композиции высокопрочных бетонов практически всегда содержат ультрадисперсные наполнители, среди которых наиболее распространен микрокремнезем. Целесообразно совместно использовать гиперпластификаторы с расширяющими добавками для предотвращения усадки, свойственной самоуплотняющимся и высокопрочным бетонам с высоким содержанием вяжущего.

Доля высококачественных бетонов растет, но все еще велико потребление рядовых бетонов – класса по прочности на сжатие ниже С35/45, характеризующихся жесткостью и осадкой конуса бетонной смеси, не обладающих высокими требованиями по долговечности. Опыт показал, что для рядовых бетонов целесообразно применять поликарбоксилаты для следующих целей:

- снижения расхода цемента за счет водоредуцирующего действия поликарбоксилатов;

- замены части цемента тонкодисперсными наполнителями;
- возможности использования низкомарочных цементов;
- снижения расхода энергии на тепловлажностную обработку изделий;
- уменьшения доли щебня в смеси заполнителя и перехода на мелкозернистые бетоны.

Экономическая целесообразность применения гиперпластификаторов для рядовых бетонов определяется двумя факторами: во-первых, ценой на цемент и газ; во-вторых, ценой на добавки предыдущего поколения – суперпластификаторы.

Одним из факторов, сдерживающих применение поликарбоксилатов в Беларуси, является их высокая стоимость, составляющая 5,5 – 10 евро/кг сухого вещества добавки (для сравнения стоимость суперпластификаторов составляет 1 – 2 евро/кг). Однако при правильном подборе состава бетона благодаря низким дозировкам (0,15 – 0,4 % от массы цемента по сухому веществу) и высокой водоредуцирующей способности (35 – 40 %) гиперпластификаторов конечная стоимость 1 м<sup>3</sup> бетона, как правило, снижается за счет уменьшения расхода цемента.

Например, в бетоне с расходом цемента 520 кг/м<sup>3</sup> заменим суперпластификатор (0,6 % от массы цемента) гиперпластификатором в дозировке 0,3 %. В этом случае мы экономим 90 кг/м<sup>3</sup> цемента. То есть стоимость сэкономленного цемента (при цене 264 тыс. руб./т) и добавки-суперпластификатора (при цене 3 тыс. руб./т) составит 32 тыс. руб. А стоимость гиперпластификатора – 28 тыс. руб./м<sup>3</sup>, т.е. наряду с экономией цемента имеется снижение стоимости бетона на 4 тыс. руб./м<sup>3</sup>.

Эффективность гиперпластификаторов растет с увеличением класса бетона по прочности. Использование данных добавок для низкомарочных бетонов (до С16/20) с низким расходом вяжущего (до 280 кг/м<sup>3</sup>) экономически нецелесообразно при отсутствии специальных требований к бетону (морозостойкости, водонепроницаемости).

Благодаря очевидным преимуществам гиперпластификаторов их доля в общем объеме пластификаторов стремительно растет, особенно в развитых странах, таких как Япония, США, Германия. Например, уже в 2005 году в Японии доля гиперпластификаторов в общем объеме достигала почти 70 %.

Все большее количество гиперпластификаторов появляется на белорусском рынке – это ГП-1, Стахемент-2000М, SikaViscoCrete 5-600, Pantarhit RC360 (FM), Dynamon SP1. В связи с ростом цен на цемент повышается и спрос на данные продукты. Однако говорить о широком использовании гиперпластификаторов в нашей стране пока преждевременно.

Применение в технологии бетонов модифицированных суперпластификаторов (СП) в сочетании с ультрадисперсными микронаполнителями, новых технологий многокомпонентных бетонов и высокоактивных цементов позволяет в несколько раз повышать среднюю прочность бетонов и получать цементные материалы прочностью более 150 МПа. Бетоны нового поколения, полученные при высокой подвижности бетонных смесей (П 14 – 15) с использованием высокоэффективных модификаторов, характеризуются высокими прочностью (В 80 – 100), водонепроницаемостью (W 16 и выше) и коррозионной стойкостью.

В технологии бетона имеет большое значение разработка добавок, регулирующих процессы твердения в нормальных и зимних условиях. Тенденция развития технологии подобных модификаторов основана на применении бесхлоридных ускорителей на основе роданидов и тиосульфатов, щелочных и щелочно-земельных металлов.

В зависимости от основного эффекта действия химические добавки для бетонов подразделяются на следующие виды:

- регулирующие свойства бетонных смесей (пластифицирующие, стабилизирующие, водоудерживающие, улучшающие перекачиваемость, регулирующие сохраняемость бетонных смесей, поризующие);
- сохраняющие твердение бетона (замедляющие и ускоряющие твердение);
- повышающие прочность и коррозионную стойкость, морозостойкость бетона и железобетона, снижающие проницаемость бетона (водоредуцирующие, кольматирующие, воздухоовлекающие, газообразующие, ингибиторы коррозии стали);
- придающие бетону специальные свойства (гидрофобизирующие, противоморозные, биоцидные, полимерные);
- тонкодисперсные минеральные добавки (неактивные, активные, минеральные пластифицирующие);
- комплексные добавки (комплексные химические, органоминеральные).

Некоторые добавки обладают полифункциональным действием, например, пластифицирующие и воздухоовлекающие.

Недостаточное использование гиперпластификаторов сдерживает развитие технологий бетона в республике и снижает конкурентоспособность отечественных строительных организаций на рынке Беларуси и России [3].

#### ***Ускорители твердения***

Рост стоимости тепло- и электроэнергии в Беларуси заставляет разрабатывать новые энергосберегающие технологии производства бетонных и железобетонных изделий, обеспечивающие быстрый набор прочности бетоном, в том числе при низкотемпературном (до 40 °С) выдерживании изделий.

Ускоренное твердение бетона может быть достигнуто следующими путями:

- 1) применением ускорителей твердения;
- 2) использованием бетонов с низким водоцементным отношением, которое достигается с помощью эффективных пластификаторов;
- 3) совместным использованием пластификаторов и ускорителей твердения.

В соответствии с СТБ 1112-98 к ускорителям твердения относятся добавки, повышающие прочность бетона на 20 % и более в возрасте 1 суток нормального твердения и на 30 % и более в возрасте 2 суток при температуре плюс 5 °С.

Наиболее распространенные добавки-ускорители твердения бетона: хлорид кальция (ХК); сульфат натрия (СН); тиосульфат натрия, тринатрийфосфат (ТНФ); нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК); роданид/тиосульфат нитрат; нитрит натрия (НН).

Как и при применении любых типов добавок, при использовании ускорителей проявляются нежелательные побочные эффекты. Например, хлорид кальция обеспечивает ускорение твердения за счет ионов хлора, агрессивных по отношению к стальной арматуре, что ограничивает область его применения. Соли натрия, применяемые отдельно или в комплексах, могут вызвать высолы на поверхности бетонных изделий.

Высокие темпы набора прочности могут быть обеспечены и за счет снижения водоцементного отношения бетона, которое в свою очередь достигается применением эффективных водоредуцирующих добавок. Известно, что скорость набора прочности зависит от водоцементного отношения бетона. Чем ниже водоцементное отношение, тем больше скорость набора прочности бетона. Так, бетоны с водоцементным отношением 0,22 – 0,24 на третьи сутки нормальновлажностного твердения имеют прочность, равную 80 – 90 % от 28-суточной прочности. Один из недостатков использования пластификаторов для ускорения твердения – превышение проектной прочности бетона [3].

#### **Противоморозные добавки**

Противоморозные добавки в Беларуси часто используются в монолитном строительстве. Обычно их применяют в том случае, когда нет возможности предотвратить охлаждение бетонной смеси и бетона до температуры 0 °С до начала обогрева бетона.

Использование противоморозных добавок в СССР началось еще в 50-е годы. В качестве первых таких добавок применяли хлористый кальций и его смесь с хлористым натрием. Однако серьезным препятствием к применению хлористого кальция и натрия в железобетоне является коррозия арматуры, вызываемая ионами хлора. В результате работы по поиску бесхлоридных добавок было предложено множество противоморозных добавок, в основном солей натрия и кальция.

Принцип действия противоморозных добавок заключается в том, что при их введении в состав бетонной смеси понижается температура замерзания воды. Благодаря сохранению жидкой фазы минералы портландцемента могут гидратироваться, обеспечивая тем самым твердения бетона на морозе.

Многие противоморозные добавки имеют ограниченную область применения в силу их отрицательного влияния на состояние арматуры или бетона при некоторых усилиях эксплуатации конструкций. Например, соли кальция уменьшают сульфатостойкость бетона, превышение содержания солей щелочных металлов (натрия и калия) способствует щелочной коррозии бетона. Некоторые противоморозные добавки способны стимулировать процесс коррозии стали. Проектируя состав бетона с противоморозными добавками, также следует учитывать возможный сброс прочности бетона (до 30 %) в проектном возрасте. Важным при использовании противоморозных добавок является ограничение их объема в бетонной смеси до 5 % от массы цемента. Ограничения по применению противоморозных добавок изложены в ТКП 45-5.03-21-2006 «Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства». Из-за множества отрицательных эффектов использование противоморозных добавок рекомендуется сводить к минимуму и применять их лишь для обеспечения незамерзания бетонной смеси до начала прогрева бетона в конструкции в случае непредвиденных технологических перерывов и для зоны контакта свежесделанного бетона с затвердевшим бетоном, температура которого равна температуре окружающей среды.

В нашей республике представлены следующие противоморозные добавки: Криопласт СП 15-1, ФН-1Т, нитрит натрия, формиат натрия, Стахефрост, Зимняя П-3 [3].

#### **Механизм действия пластифицирующих добавок с учетом используемого сырья и технологии использования при изготовлении монолитного железобетона**

Огромное научное и прикладное значение имеют исследования, касающиеся механизмов действия микронаполнителей на формирование микро- и макроструктуры цементного камня. В настоящее время наиболее распространенными минеральными добавками, используемыми в технологии высокопрочных бетонов, являются микрокремнезем и золаунос. Механизмы действия этих добавок сложны и до конца не исследованы, поскольку в сложной и многокомпонентной гидратирующей цементной системе, находя-

щейся в постоянном развитии, слишком велико количество факторов, влияющих на характер и кинетику протекания химических и кристаллизационных процессов.

Анализ начальных условий формирования твердеющих структур свидетельствует о том, что гетерогенным цементным системам свойственно реагировать на малейшие изменения условий гидратации. Эти изменения могут достигаться различными способами, в том числе и путем применения химических веществ и наполнителей различной природы. Например, использование тонко- и ультрадисперсных наполнителей может в значительной степени изменить зарядовое состояние цементных частиц, изменяя тем самым не только реологическое состояние, но также характер и скорость гидратационных процессов. Адсорбция химических и особенно высокомолекулярных модификаторов на частицах цемента и гидратных фазах способствует замедлению процесса гидратообразования в начальной стадии. Таким образом, вводя в цементную систему химические соединения различной природы, мы имеем в конечном итоге результирующий отклик ее на воздействия этих веществ и изменение условий гидратации.

Таким образом, введение в цементные системы тонкодисперсных минеральных наполнителей, инертных по отношению к воде, позволяет создавать необходимые реологические условия для получения высокотехнологичных и удобоукладываемых смесей и формирования плотно упакованной структуры цементных материалов. Высокая плотность структуры может быть достигнута за счет введения в систему 2 – 3 фракций минеральных микронаполнителей, близких друг к другу по кристаллохимическому строению, и наиболее целесообразным в этом случае является использование микронаполнителей, параметры кристаллических ячеек которых соизмеримы с аналогичными параметрами гидратных фаз цементных систем.

Применение дисперсных и ультрадисперсных минеральных наполнителей со структурными особенностями, близкими к цементным минералам является целесообразным не только вследствие проявления многими из них химической активности, но и вследствие возможности встраивания их молекул в структуры кристаллогидратных фаз в процессе гидратации.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что наибольшая эффективность применения карбонатных шламов обеспечивается не в «тощих» смесях, а в составах со средним расходом цемента. Это объясняется тем, что одним из возможных механизмов активирующего действия шламов является эпитаксиальное наращивание гидратных новообразований на частицах тонкодисперсного кальцита, как на затравках кристаллизации. Недостаток цементной матрицы в составах с малым расходом вяжущего снижает эффективность кальцита как подложки для формирования эпитаксиальных контактов срастания.

Регулирование свойств цементных систем с помощью функциональных добавок предусматривает воздействие на свойства растворяемых смесей (водопотребность, водоудерживающую способность, пластичность, сроки схватывания) и на свойства затвердевших растворов (пористость, деформации и др.). Химическая природа применяемых добавок различна (таблица), что и определяет многообразие механизмов их влияния на твердеющие системы, образующиеся при затворении цементных систем водой.

Добавки для сухих строительных смесей

Назначение (группа добавок)	Фазово-химический состав	Назначение (группа добавок)	Фазово-химический состав
Водоредуцирующие (водопонижающие) суперпластификаторы	Соли сульфонированных, меламин-формальдегидных (СМФ) или нафталинформальдегидных (СНФ) полимеров	Пеногасители	Жидкие углеводороды и полигликоли на инертном носителе (аморфном кремнеземе)
Водоудерживающие	Водорастворимые модифицированные эфиры целлюлозы: - метилгидроксиэтил; - метилгидроксипропил; - этилгидроксиэтил; - карбоксиметил и др.	Ускорители схватывания	Алюминат натрия Гидросиликат натрия Поташ
		Замедлители схватывания	Винная, лимонная кислоты и их соли, глюконаты
Загущающие (реологические)	Эфиры крахмала (гидроксипропиловых), модифицированные бентониты (гекторит)	Ускорители твердения и упрочнители	Формиат кальция Родонит кальция Карбонат лития Микрокремнезем
Полимерные (редиспергируемые порошки)	Гомо- и сополимеры винилацетата, винилверсатата, стирола, акрилата, бутадиена и др.	Гидрофобизирующие	Стеараты кальция, магния, цинка Силиконовые смолы на носителях
		Противоусадочные расширяющиеся	Алюминаты и сульфоалюминаты кальция, активный глинозем. Органические высокомолекулярные соединения

Воздухововлекающие (порообразователи)	ПАВ, органические сульфокислоты, соли органических кислот, нейтрализованная виниловая смола	Противоморозные (ведение работ при низких и отрицательных температурах)	Нитраты, нитриты, формиат кальция, мочевины, коалесценты
		Уменьшающие биохимическую коррозию	Добавки фунгицидного и биоцидного действия

Способность водоредуцирующих добавок, в том числе и наиболее часто используемых в составе сухих смесей суперпластификаторов (СП), снижать водопотребность растворной смеси основана на следующем механизме их действия. Добавка суперпластификатора адсорбируется на гидратирующих цементных зернах и уменьшает их агрегацию (слипание) по следующим причинам (1):

- 1) из-за увеличения сил отталкивания между твердыми частицами рост абсолютной величины дзета-потенциала (однополярность поверхностного заряда частиц);
- 2) из-за увеличения сродства твердой и жидкой фаз (если частицы более энергично притягиваются жидкой фазой, чем друг другом, они будут диспергироваться);
- 3) из-за создания стерических (пространственных) препятствий вследствие сорбции неионных полимеров частицами, что может ослаблять притяжение между ними (большинство суперпластификаторов являются полимерами).

Введение суперпластификаторов на ранних стадиях взаимодействия цемента с водой (2, 3) дезагрегирует цементные конгломераты, и содержание частиц мелких фракций в присутствии суперпластификатора увеличивается, а последующая коагуляция мелких по размеру частиц до крупных блоков затрудняется, при этом вода, ранее иммобилизованная в агрегатах, высвобождается и обеспечивает дополнительную подвижность цементных частиц.

Необходимо учитывать побочные эффекты влияния суперпластификаторов: они обычно замедляют сроки схватывания растворной смеси, а достигнутая с их помощью пластичность достаточно быстро (30 – 60 мин) после повторного перемешивания растворной смеси снижается даже быстрее, чем в смесях, не содержащих суперпластификаторы. Замедление схватывания в большей степени наблюдается в смесях, содержащих суперпластификаторы нафталинформальдегидного типа, по сравнению с суперпластификаторами на меламиновой основе [4].

Для целенаправленного регулирования свойств смесей и затвердевшего искусственного камня в процессе их изготовления вводят химические добавки на основе неорганических и органических веществ. К ускорителям твердения относятся добавки, повышающие растворимость цемента: хлорид и нитрат кальция, сульфат натрия в количестве до 2 % от массы цемента, кристаллические добавки-затравки (гипс), создающие условия для более быстрой кристаллизации и твердения цементного теста. Эти добавки применяют как при бетонировании на строительной площадке в условиях низких положительных температур, так и при получении сборных конструкций на заводе с целью экономии энергозатрат на их производство. Изготовление бетонной смеси на заводе и транспортировка ее к месту укладки, особенно в летний период, часто сопровождаются потерей пластичности вследствие интенсивного при повышенной температуре взаимодействия цемента с водой. В этих условиях в бетонную смесь вводят замедлители твердения, которые представляют собой или органические поверхностно-активные вещества, образующие адсорбционный слой на поверхности цементных зерен, замедляющий на определенный период взаимодействие цемента с водой, или вещества, эффект которых связан с кристаллизацией малорастворимых соединений, экранирующих поверхность цемента (сахара, соли некоторых органических кислот). При последующем перемешивании защитный слой нарушается, и бетонная смесь приобретает свойства твердеть и набирать прочность в обычном режиме.

Определенный обширный класс составляют противоморозные добавки. Механизм их действия заключается в способности понижать температуру замерзания воды, причем раствора. Таким свойством обладают как органические, так и неорганические соединения. Так как в случае перехода воды в лед всякие химические взаимодействия прекращаются, то введение их в бетон, обеспечивая сохранность воды (раствора) в жидком виде, создает нормальные условия для прохождения реакций гидратации цемента при отрицательной температуре. В качестве противоморозных добавок используются как однокомпонентные: хлорид натрия и кальция, карбонат калия (поташ), нитрит натрия, мочевины, так и комплексные: НКМ ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{мочевина}$ ), ННХК ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaCl}_2$ ),  $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$ . Многокомпонентные добавки применяют в том случае, когда хотят повысить общий основной эффект действия или уменьшить отрицательные свойства одного из компонентов. Например,  $\text{CaCl}_2$  является сильным антифризом, способным образовывать растворы с температурой замерзания минус 25 °С, однако наличие агрессивного по отношению к стальной арматуре хлор-иона резко ограничивает применение при бетонировании железобетонных конструкций. Снять ограничения стало возможным за счет сочетания с  $\text{NaNO}_2$ , обладающего свойствами антифриза и ингибитора коррозии стали. Введение поташа (карбоната калия) в количестве 7 % от массы цемента вызывает быстрое схватывание и потерю подвижности смеси. Это значительно услож-

няет технологию производства бетонных работ, поэтому добавку используют совместно с такими замедлителями твердения, как меласса (отход сахарного производства), СДБ, модифицированная ЛСТ, и др.

Добавки-пластификаторы (ССБ, СДБ, СПС, 10-03, МФАС-Р, 100-П и др.) вводят в бетонную смесь в количестве 0,1 – 0,3 % от массы цемента. Основной эффект этих поверхностно-активных веществ связан с улучшением смачивания водой цементных зерен за счет поверхностной адсорбции и облегчения скольжения частиц при перемешивании относительно друг друга. В последнее десятилетие все большее распространение получают добавки-суперпластификаторы (С-3, С-НПИ), представляющие собой высокоэффективные органические поверхностно-активные вещества. Введение их в количестве 0,3 – 1 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество (так как часто это водные растворы) позволяет без увеличения расхода воды получить высокоподвижные, литые бетонные смеси, что дает возможность частично или полностью отказаться от вибрации при формовке изделий и обеспечивает их транспортировку по трубопроводам пневматическим способом или с использованием бетононасосов. При сохранении заданной пластичности за счет значительного сокращения расхода воды (до 20 %) снижают продолжительность термовлажностной обработки, повышают плотность, прочность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Как показала многолетняя практика их использования, добавки этого класса несколько снижают темп роста прочности бетона в начальные сроки естественного твердения, в связи с этим их часто используют в комплексе с ускорителями твердения.

Введение органических гидрофобных добавок в количестве 0,01 – 0,03 % от массы цемента не только обеспечивает долговременное хранение вяжущего, но и уменьшает смачиваемость стенок пор, капилляров цементного камня и поверхности бетонных изделий. При перемешивании бетонной смеси добавки вызывают повышенное воздуховлечение, что обеспечивает преобладание в бетоне замкнутых, недоступных проникновению воды пор, заполненных воздухом, которые значительно повышают морозостойкость бетона.

С целью придания бетону ячеистой структуры, характеризующейся равномерно распределенными замкнутыми порами по всему объему примерно одного размера, заполненными газом или воздухом, вводят газо- и пенообразующие добавки. Наиболее часто применяется алюминиевая пудра, реакция которой с продуктом гидратации трехкальциевого силиката – гидроксидом кальция или самым вяжущим – известью приводит к выделению газообразного водорода.

Органические соединения, обладающие способностью образовывать устойчивую пену (мыло, гидролизованная кровь животных и др.), применяют при получении пенобетона.

Условия эксплуатации некоторых конструкций (железобетонные трубы, емкости для хранения жидких продуктов) требуют, чтобы бетон обладал высокой плотностью и непроницаемостью. С этой целью вводят специальные уплотняющие добавки в количестве 1 – 3 % от массы цемента: хлорид железа, сульфат алюминия. Продукт взаимодействия этих веществ с гидратными новообразованиями цементного камня, обладая низкой растворимостью, заполняют (кольматируют) поры бетона, повышая его плотность.

При введении хлорсодержащих добавок (ускорителей, уплотняющих, противоморозных) вследствие высокой активности содержащихся хлоридов по отношению к стальной арматуре, как говорилось выше, возникает опасность ее коррозии. Аналогичные опасения имеют место и при эксплуатации железобетонных конструкций в условиях действия жидких и газообразных соединений хлора. Чтобы по возможности исключить разрушение арматуры, приводящее к потере несущей способности всей конструкции, при ее изготовлении в бетонную смесь вводят самостоятельно или в комплексе с хлорсодержащими добавками такие ингибиторы коррозии, как нитриты, хроматы и бораты.

В последние годы все больше внимания уделяют биоповреждениям в строительстве. В частности, долговременные исследования эксплуатации зданий и сооружений показали, что микроорганизмы разрушают не только древесину и полимеры, но и такие неорганические материалы, как металлы и бетон. Этот вид коррозии характерен для сельскохозяйственных сооружений, предприятий пищевой и деревообрабатывающей промышленности, банно-прачечных комбинатов и т.д. С целью исключения развития микроорганизмов на поверхности конструкций и разрушения их продуктами жизнедеятельности в бетонную смесь вводят биоцидные добавки, представляющие собой соединения меди.

В зависимости от назначения в смесь, состоящую из воды, минерального вяжущего и в ряде случаев химических добавок, вводят тонкомолотый наполнитель (красочные составы, грунтовки, шпатлевки), мелкий наполнитель (строительные растворы) или мелкий наполнитель в сочетании с крупным при получении бетонов [5].

#### **Опыт использования пластификаторных добавок в технологии монолитного бетона и железобетона**

Строительная наука и практика развиваются так стремительно, что уже неприемлемы те материалы, которые повсеместно применялись в недалеком прошлом при производстве и использовании строительных материалов, в частности бетонов и железобетонных конструкций. Новые технологии должны учитывать вопросы энергосбережения, экономии материалов и трудовых ресурсов. А высотное строительство –

непременный атрибут современных городов – обязывает науку и промышленность, в том числе нашей страны, объединить усилия для реализации самых передовых технологических решений.

Бетон и железобетон будут и в ближайшем столетии основным строительным материалом. При этом если говорить о конструкциях из бетона, то нужно разделить их на сборные железобетонные и конструкции из монолитного бетона, возводимых непосредственно на объектах. Расширение масштабов применения монолитного бетона связано и со строительством новых уникальных зданий, и с объемно-планировочными решениями, и с высотным строительством. Параллельно развивается отрасль сборного железобетона: предприятия ЖБИ находятся в стадии реконструкции, поскольку оборудование, установленное на них еще в 50-х годах прошлого века, физически и морально устарело. При реконструкции необходимо учесть достижения науки за последние 10 – 20 лет. Это касается и химии, и малоэнергоёмких технологий производства железобетона, а также имеющегося на рынке высокопроизводительного оборудования с низкими трудозатратами.

Составы, композиции бетонов также должны быть другими, следует учитывать тенденции энерго- и ресурсосбережения при их разработке. Решать эту задачу в основном можно за счет химии. Сегодня химия в производстве – это генеральная линия для повышения эффективности всех конструкций – и сборных и монолитных. Речь идет, в частности, о химических модификаторах бетонной смеси, которые ее разрезают и соответственно создают возможность формовать изделие, укладывать бетонную смесь с меньшими трудозатратами без виброуплотнения. При этом уменьшаются энергозатраты, производительность труда увеличивается в 2 – 3 раза.

Исключение виброуплотнения и ряда других операций, которые необходимы в работе с традиционными составами бетонов, стало возможно благодаря применению пластификаторов и особенно добавок нового поколения – гиперпластификаторов. В нашей стране применяются в основном импортные гиперпластификаторы: чешский «Стахеми-2000», швейцарский «Сика Виска Крето» и др. Но создан и отечественный гиперпластификатор ГП-1.

С некоторых пор наметилась тенденция к производству бетонов повышенной прочности. Соответственно, увеличивается их долговечность, снижается расход стали для армирования бетонных конструкций. Гиперпластификаторы позволяют при одной и той же удобоукладываемости снизить расходы воды в бетонной смеси на 35 – 40 %. Соответственно, если используется меньше воды (снижается водоцементное отношение), увеличивается прочность бетона. Если раньше мы производили бетоны с прочностью 300 кг/см<sup>2</sup>, то сегодня способны производить бетоны с прочностью 1000 кг/см<sup>2</sup>. В лабораторных условиях уже получен и бетон с прочностью 1300 кг/см<sup>2</sup>. Такое стало возможно за счет использования гиперпластификаторов и тонкодисперсных минеральных наполнителей, в том числе и микрокремнезема – отходов металлургических предприятий. С другой стороны, нужно ускорять время набора прочности бетона. У обычного бетона в нормальных условиях проектная прочность достигается в 28-суточном возрасте. На предприятиях сборного железобетона, чтобы ускорить процесс, производят тепловую обработку изделий. А это существенно отражается на энергозатратах. Чтобы сэкономить энергоресурсы, необходимо снизить водоцементное отношение, ввести химические модификаторы, которые позволяют ускорить набор прочности бетона и, соответственно, резко снизить потребление тепловой энергии при производстве сборного железобетона. Такие добавки есть. Это природный модификатор ПВК (полиметаллический водный концентрат), сульфат натрия и формиат натрия. Но многие из них содержат хлор, который агрессивен по отношению к арматуре. Поэтому сейчас перед наукой стоит задача создания ускорителей, не содержащих хлора.

Многие изделия должны быть устойчивы к действию низких температур, к морозу. Это прежде всего дорожные конструкции, наружно эксплуатируемые изделия. Противоморозные пластификаторы позволяют твердеть бетону при отрицательных температурах и в то же время помогают увеличить морозостойкость железобетона при переменных циклах оттаивания – замораживания. Такие добавки есть, например, нитрит натрия.

Для литых бетонных смесей в целях предотвращения расслаивания, сохранения их вязкости и предотвращения водоотделения требуются модификаторы вязкости. Эти добавки имеются пока только импортного производства. Поэтому перед отечественной наукой стоит задача разработать собственные аналоги.

Что касается традиционной технологии, то она была разработана на бетоны, которые требовали вибрационного уплотнения. Это применение кассетных установок – мощных металлоёмких конструкций, куда укладывается не совсем подвижная бетонная смесь. Установка весит около 40 тонн. В процессе работы вибраторы создают шум, а следовательно, антисанитарные условия, расходуется много энергии и т.д. Поэтому необходимо использовать самоуплотняющиеся бетонные смеси.

В республике проведены специальные исследования, и такие бетоны уже использованы на многих объектах. Например, новая технология применялась при производстве столбов для демаркации границы между Беларусью и странами Евросоюза, а также при реконструкции Театра оперы и балета. Применяли

ее и при строительстве «Минск-Арены», возведении завода по производству газетной бумаги в Шклове. Планируется широко использовать изделия по такой технологии и на предприятиях сборного железобетона.

Что касается возведения монолитных конструкций, то здесь в первую очередь должны использоваться именно самоуплотняющиеся и высокопрочные бетоны. В России при строительстве высотных зданий бетон прочностью ниже  $300 \text{ кг/см}^2$ , как правило, не производят, там применяются бетоны повышенной прочности, например  $700 \text{ кг/см}^2$  и практически самоуплотняющиеся, требующие незначительной вибрации. Такие бетоны и должны применяться при высотном строительстве.

В Беларуси подобные составы использовали при строительстве Национальной библиотеки и ряда каркасных зданий. Сейчас планируется начать строительство высотных зданий, в частности, рядом с Национальной библиотекой, Дворцом Республики, где появится гостиница высотой 38 этажей. На таких объектах будет применен и высокопрочный бетон, и высокоподвижный, возможно не полностью самоуплотняемый, но легко укладываемый, с низкими затратами и высокой производительностью, комфортными условиями для рабочих.

При монолитном строительстве возникает проблема усадочных трещин. Плиты большой площадью имеют тенденцию к усадке, что недопустимо. Поэтому надо использовать другие модификаторы, расширяющиеся компоненты, которые бы не давали возможность усадки бетона, сводили к нулю или минимизировали бы это явление. Создан расширяющийся сульфазеаметантный модификатор (ОСАМ), который уже применяли при строительстве ледовой арены – бетонировали железобетонную плиту. Применялись и пластификаторы, и данная расширяющая добавка.

На «Минск-Арене» использовали бетон с прочностью  $800 \text{ кг/см}^2$ . Хотя необходимо было получить не марку бетона, а в течение трех дней добиться 70-процентной прочности. Как правило, такая прочность у обычного бетона достигается по истечении 14 суток. Получена прочность почти  $600 \text{ кг/см}^2$  за трое суток. В Беларуси выпускаются цементные марки 500, 600 («Красносельскстройматериалы»), имеется высокого качества щебень, т.е. основа для производства высокопрочных бетонов и соответственно высотного строительства в республике есть.

Что касается технологии, то самоуплотняющиеся бетоны впервые были применены в Японии. Затем идею развили в Канаде и Норвегии. В Беларуси также занимаются данной технологией, разработали нормативную документацию. Впервые был разработан Стандарт по бетонам и железобетонным конструкциям СНБ 05.03-01, который полностью гармонизирован с международным и европейским стандартами, но при этом учитывает особенности, характерные для нашей республики, – жесткие требования по защитным слоям арматуры.

Большинство применяемых в настоящее время в Беларуси модификаторов бетона российского производства. Российская промышленность представлена фирмами «ПолипластХим», «Фрэймхаус-трэйд», «Биотехгарант», «СтандартЭ.С.Т.», «СКТ-Стандарт» и др. Популярность добавок российского производства объясняется просто: многие производители предлагают различные модификаторы на основе С-3 – недорогостоящего, хорошо зарекомендовавшего себя суперпластификатора советских времен.

Среди фирм, представляющих добавки европейского производства, следует отметить «Феликс», «Баутеншутц», «Шюринг-бетон».

Среди белорусских производителей выделяются «Агротехноминерал» и «Стахема-М». Добавки этих производителей часто используются при строительстве и реконструкции объектов республиканского значения – ТЦ «столица», Национального театра опера и балета, комплекса «Минск-Арена», Шкловского завода по производству газетной бумаги и др. При проектировании составов, разработке технологий специалисты из института БелНИИС, БНТУ, БелдорНИИ по мере возможности ориентируются на отечественные добавки. Таким образом, преимущество белорусских производителей состоит не только в производстве добавок, но и в научно-техническом сопровождении при их использовании [3].

**Заключение.** Со второй половины XX века в условиях индустриального строительства применение так называемых «традиционных» материалов в чистом виде стало встречаться все реже. Все чаще начали пользоваться материалами с совсем иными свойствами или составами, частично меняющими свойства ранее применявшихся материалов. Среди таких веществ появились химические добавки. Масовому применению этих добавок предшествовало серьезное теоретическое обоснование. Добавки уже тогда делились по их назначению: ускорители схватывания и твердения портландцемента и шлакопортландцемента; замедлители схватывания и твердения цементов; добавки для улучшения обрабатываемости бетонной смеси; добавки для повышения водостойкости строительных материалов, химсоставы препятствующие преждевременному осаждению воды на бетоне; добавки для повышения морозостойкости свежесделанного бетона и др.

В зависимости от свойств исходного сырья и с целью придания необходимых свойств бетонам и растворам химические добавки применялись и применяются в строительстве во всем своем разнообразии. Востребованы и в настоящее время добавки хлорида, нитрата и нитрита кальция, которые при взаимо-

действию с  $C_3A$  и  $C_4AF$  приводят к образованию низкохлоридной, низконитратной и низконитритной форм соответствующих солей. Для суперпластификаторов применяются сульфированные меломиноформальдегидные смолы и комплексные добавки на их основе, продукты конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида, модифицированные лигносульфонаты.

Основным ингредиентом ускорителя твердения бетона могут быть алюминат натрия, гидроксид либо карбонат натрия и кальция, триэталомин, сульфат трехвалентного железа и фтористый натрий.

Современный уровень технологии позволяет представить бетоны будущего, имеющие:

- высокие физико-технические характеристики: класс прочности В 40... В 80;
- низкую проницаемость для воды (эквивалентна маркам W 12 ... W 20) и газов, низкую усадку и ползучесть, повышенную коррозионную стойкость и долговечность, т.е. характеристики, сочетание которых или преобладание одной из которых обеспечивает высокую надежность конструкций в зависимости от условий эксплуатации;

- доступную технологию производства бетонных смесей и бетонов с вышеуказанными характеристиками, основанную на использовании традиционных материалов и сложившейся производственной базы.

Представляется, что основным путем реализации концепции бетонов нового поколения является модифицирование бетонов с использованием более совершенных и технологических материалов. Это могут быть смесевые композиции из традиционных добавок в новых отпускных формах или специально синтезированные органические продукты [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112-98. – Минск.
2. Применение добавок в бетоне: П1-99 к СНиП 3.09.01-85. – Минск, 2000.
3. Белорусский аналитический журнал для практиков строительного дела «Мастерская. Современное строительство». – 2008. – № 10(55).
4. Кореев, В.И. О механизмах действия функциональных добавок при гидратации и твердении сухих строительных смесей / В.И. Кореев. – СПб.: Санкт-петерб. гос. технолог. ин-т, 2007.
5. Применение комплексных добавок для повышения прочности бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.betonmagazin.ru/arhiv>; [www.allbeton.ru/article/](http://www.allbeton.ru/article/).
6. Добавки к бетонам. Ускорители твердения и пластификаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sovmat.zodchy.ru>.

Поступила 09.10.2010

#### USE OF CHEMICAL ADDITIVES IN THE MONOLITHIC CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

*O. KUDELKO*

*The analysis of efficiency of various additives, including complex action plasticizers, mechanism of action depending on initial raw materials and also technology on an instance of mass application experience of the modified concrete mixes in the monolithic building are presented. High rates of building, especially housing appointment, demand application of various methods on reducing of terms of building, not lowering quality. It has in turn called mass application of chemical additives in betons and solutions. Depending on the problems facing to builders, the wide spectrum of chemical additives allows to solve as narrow problems, and to apply additives with universal possibilities. Application of additives provides economic benefit at the expense of decrease in power consumption and resource-saving at the expense of reducing of terms of building and improvement of quality of a total product. Work with additives demands certain crop of manufacture from workers, level of their erudition, and also a guidance system of quality of works.*