



УДК 691.544: 666.941.2

***Н.С. Ступень***

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ ДОБАВКИ В ЦЕМЕНТНЫЕ И БЕТОННЫЕ КОМПОЗИЦИИ**

В статье дан аналитический обзор эффективных добавок в цементные и бетонные композиции, улучшающих свойства бетона.

Задача повышения эффективности и качества бетона и железобетона была и остается весьма актуальной и в полной мере не может быть успешно решена без использования в технологии бетона химических добавок.

Химические добавки, являясь одним из самых простых и доступных технологических приемов совершенствования свойств бетона, позволяют существенно снизить уровень затрат на единицу продукции, повысить качество и эффективность большой номенклатуры железобетонных конструкций, увеличить срок службы как конструкций, так и зданий и сооружений в целом. Поэтому применению химических добавок в технологии бетона в мировой практике уделяется огромное внимание. Так, например, к началу 2000-го года доля бетона с добавками различного назначения в Японии составляла более 80%, в США, Германии, Франции и Италии – более 70% [1]. Разработано множество методических рекомендаций и различного рода пособий отраслевых научно-исследовательских институтов по вопросам применения химических добавок для бетонов и растворов.

Развитие строительной индустрии в последнее десятилетие осуществляется под знаком возрастающих требований по рациональному и эффективному использованию сырьевых и энергетических ресурсов. Это затрагивает все отрасли промышленности строительных материалов, и прежде всего изготовление сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Практическое решение проблемы эффективного использования сырьевых и энергетических ресурсов в производстве сухих и готовых растворных и бетонных смесей, бетона и железобетона, как сборного, так и монолитного, в полной мере возможно лишь при широком и всестороннем использовании химических добавок.

По прогнозам специалистов, доля бетонов с добавками в нашей стране в ближайшие годы должна возрасти до 50% и более. При этом основной упор, вероятно, будет сделан на производство и применение пластификаторов, комплексных добавок различного назначения, суперпластификаторов и противоморозных добавок.

Добавки представляют собой химические вещества (реагенты) как органического, так и неорганического строения, сложного или простого состава. Они вводятся в состав бетона, как правило, с водой затворения и могут иметь жидкое, твердое или пастообразное состояние. В ряде случаев в качестве добавок для бетонов используют химические продукты с постоянным, нормируемым соответствующими нормативными документами (стандартами) составом. Это могут быть соли, кислоты, щелочи и другие продукты химического производства.

Назначение добавок весьма разнообразно. Количество применяемых в производстве раствора, бетона и железобетонных конструкций составляет более 300 наименований. В стадии исследования и промышленного испытания находится около 1000 наименований добавок.



Столь широкая номенклатура химических добавок для бетона обусловлена в большинстве случаев стремлением использовать их для улучшения свойств бетона, снижения расхода цемента или уменьшения энергетических затрат при производстве железобетона, различных отходов и попутных продуктов многих отраслей промышленности. С другой стороны, необходимость поиска все новых добавок обуславливается избирательным характером их модифицирующего эффекта, который зависит не только от химического состава добавок, но и от химического и минералогического состава цемента, тонкости его помола, наличия и количества щелочей в составе цемента. Величина модифицирующего эффекта многих добавок зависит и от удельного расхода цемента в бетонной смеси, содержания и типа минеральных добавок, водоцементного отношения, режимов тепловой обработки железобетонных конструкций. Таким образом, выбор добавок для совершенствования свойств бетона и технологии изготовления железобетонных конструкций является весьма непростой задачей. Поэтому для правильного выбора добавок применительно к конкретным условиям производства, назначению выпускаемой продукции и поставленным целям необходимо четкое представление о классификации добавок по их назначению и о механизме их действия. Выделяют 3 основные группы добавок [2].

**Первая группа** – это добавки, регулирующие свойства готовых к употреблению бетонных и растворных смесей:

- пластифицирующие – водоредуцирующие (суперпластифицирующие, сильнопластифицирующие, пластифицирующие);
- стабилизирующие; регулирующие сохранность подвижности;
- поризующие (воздухововлекающие, пенообразующие, газообразующие).

**Вторая группа** объединяет добавки, изменяющие свойства бетонов и растворов: регулируют кинетику твердения (ускорители, замедлители), повышают прочность; снижают проницаемость; повышают защитные свойства по отношению к стальной арматуре; повышают морозостойкость; повышают коррозионную стойкость (повышают сульфатостойкость, стойкость против коррозии цементного камня); регулируют процессы усадки и расширения.

**К третьей группе** относят добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства:

- противоморозные;
- гидрофобизирующие;
- биоцидные;
- повышающие стойкость к высолообразованию.

Принадлежность любой химической добавки, в том числе и новой, к той или иной группе определяется по критериям эффективности по методикам согласно ГОСТу.

Особое место занимают добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. К ним относятся нитриты щелочных и щелочноземельных металлов, хроматы и дихроматы калия или натрия, тетрабораты натрия или калия, бензоат натрия, фосфаты щелочных металлов и некоторые амины.

На базе указанных добавок могут использоваться комплексные добавки, например сочетание нитрита натрия с бензоатом натрия, тетраборатом натрия, с ЛСТ и другие. Как правило, эти добавки одновременно служат и регуляторами скорости твердения бетона. Некоторые из них, например нитрит натрия, нитрит-нитрат кальция, являются эффективными противоморозными добавками.



По механизму их защитного действия на стальную арматуру различают пассиваторы и ингибиторы. Сущность механизма действия пассиваторов заключается в образовании на поверхности металла защитных пленок из оксидов или нерастворимых солей. Такими свойствами обладают нитриты, фосфаты, силикаты, хроматы, бихроматы и некоторые другие соединения. Следует, однако, заметить, что некоторые из перечисленных соединений, действуя в основном на анодный процесс, сокращают площадь анодных участков и в случае малой концентрации способствуют локализации коррозионного процесса в отдельных точках – питтингах. Следовательно, добавки-пассиваторы не всегда обеспечивают надежную защиту стали от коррозии.

Добавки-ингибиторы обеспечивают надежную защиту стали от коррозии, особенно в бетоне с пониженной щелочностью среды. Они образуют на поверхности стали пленки с физической адсорбцией. К таким добавкам относятся амины, фосфорорганические соединения, ряд ПАВ катионактивного действия.

Добавки, замедляющие коррозию, делятся на анодные, катодные и смешанные в зависимости от того, где они преимущественно воздействуют на реакцию коррозии – на анодных или катодных пластинах или на пластинах обоих типов.

Анодные ингибиторы – это вещества, действие которых основано на их способности поглощать электроны. Они подавляют реакции, протекающие на аноде. Большинство добавок, относящихся к этой группе, эффективны только тогда, когда они присутствуют в достаточно высоких концентрациях. Требуемая концентрация часто определяется содержанием хлорида, воздействующего на сталь. Если используются недостаточные дозы добавок, то происходит коррозия, интенсивность которой локализована, что вызывает сильную точечную коррозию.

Из анодных ингибиторов наиболее широко применяют нитриты кальция или натрия, бензоат натрия и хромат натрия. Кроме того, считаются перспективными натриевые соли силикатов и фосфатов, двуххлористое олово и гидразингидрат.

Катодные ингибиторы действуют либо путем замедления катодной реакции, либо путем выборочного осаждения на катодных пластинах. Вещества этой группы – сильные акцепторы протонов, и их действие в отличие от анодных ингибиторов является обычно косвенным.

В качестве катодных ингибиторов обычно применяют основания (N-OH), которые увеличивают значение pH среды и таким образом уменьшают растворимость соединений железа. Большая часть исследований была посвящена изучению анилина и его хлор-, алкил- и нитрозамещенных форм, а также меркаптобензотиазола. Во всех случаях молекулярная структура играет существенную роль в эффективности этих смесей. Увеличение общей электронной плотности и пространственное расположение групп с разветвленной цепью определяют степень хемосорбции на металле и, следовательно, их эффективность.

Смешанные ингибиторы могут одновременно действовать как на анодные, так и на катодные процессы. Смешанный ингибитор обычно более предпочтителен, так как его действие направлено на всеохватывающую поверхностную коррозию, возникающую из-за присутствия хлоридов. Использование смешанного ингибитора дает лучший эффект.

Смешанные ингибиторы содержат молекулы, у которых распределение плотности электронов обуславливает притяжение ингибитора как к анодным, так и к катодным площадкам. Эти молекулы могут иметь более одной ориентированной присоединенной группы, например NH и SH, и обычно характеризуются следующими особенно-



стями: одна основная молекула может содержать структуры, общие для обеих ориентированных групп (аминотиофенол); соль образуется ориентированными группами акцепторов электронов и протонов из двух отдельных молекул.

Каждая группа ингибиторов может включать вещества, действие которых основано на одном из следующих механизмов:

- образование барьерных слоев;
- окисление путем пассивации поверхности;
- влияние на окружающую среду, контактирующую с металлом.

Ниже перечислены требования, которым должны удовлетворять отдельные химические вещества или их смеси для того, чтобы они могли выступать в качестве эффективных ингибиторов коррозии:

- молекулы должны обладать сильно выраженными свойствами принимать или отдавать электроны, либо окислительно-восстановительной двойственностью;
- растворимость должна быть такой, чтобы быстрое насыщение корродирующей поверхности происходило без быстрого выщелачивания вещества;
- эти вещества должны вызывать поляризацию соответствующих электродов при относительно малых значениях силы тока;
- они должны быть совместимы с системой, для которой предназначено вещество, чтобы не вызывать нежелательных побочных эффектов;
- добавки должны быть эффективными при тех значениях pH и температуры окружающей среды, при которых они используются.

Смесь нитрита и нитрата кальция вместе с муравьино-кислым кальцием используется как для ускорения роста прочности, так и для замедления коррозии во время пропаривания. Кроме того, в условиях автоклавной обработки замедление коррозии обеспечивается комбинациями  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или гипса и ацетата натрия.

Нитрит кальция предлагается на рынке как не содержащий хлорида ускоритель твердения, а также как ингибитор коррозии. При содержании твердых веществ в растворе 25–30% дозировка составляет 2–4% массы цемента. Несмотря на высокую стоимость обработки  $1 \text{ м}^3$  бетона, использование данного метода считается экономически целесообразным по сравнению с другими доступными методами предотвращения вредного действия хлоридов на сталь. Другим преимуществом нитрита кальция по сравнению с нитритом натрия является уменьшение выщелачивания и обесцвечивания, а также меньшая вероятность протекания реакции между примесями реакционноспособного кремнезема в заполнителе и щелочью. Нитрит натрия представляет собой мелкозернистый, свободно текущий порошок. Он эффективно применяется в отсутствие хлоридов, как в обычных, так и в пропариваемых бетонах в дозировке 1–2% массы цемента. В присутствии хлоридов доза должна превышать 2% для того, чтобы предотвращалось развитие активной точечной коррозии.

Использование нитрита натрия ограничено из-за быстрого выщелачивания.

Хроматы натрия и калия используются в дозах 2–4%. Их влияние на процесс коррозии почти такое же, как у нитрита натрия, если не считать зеленого цвета, присутствующего хроматам.

Бензоат натрия в количестве 2–3% замедляет коррозию и вызывает более ранний прирост прочности.

Катодные ингибиторы, состоящие из анилина и его хлоралкиловых и нитрозамещенных форм, а также аминоэтанольная группа используются в дозах 1–2% от массы цемента в присутствии 1–2%  $\text{CaCl}_2$ .



Неорганические вещества, такие как NaOH, обычно вводятся в дозах 2–4%. Смешанные ингибиторы используются в дозах 1–2%.

В большинстве случаев ингибиторы коррозии стали – растворимые неорганические вещества, представляющие собой порошки, которые можно вводить вместе с песком, или водой затворения, или после того, как завершен начальный цикл замеса. При добавлении в воду затворения порошок должен быть растворен, чтобы обеспечилась необходимая концентрация до введения в смесь.

Жидкие добавки, такие как нитрит кальция, могут быть введены в смесь с помощью имеющихся в настоящее время автоматических жидкостных смесителей. При использовании ингибиторов коррозии вместе с обычными добавками важно, чтобы они добавлялись отдельно, на различных этапах смешивания.

При низких концентрациях добавок или малом отношении дозы ингибитора к уровню хлоридов коррозия интенсивно локализуется, и ее действие становится значительным. При применении добавок ингибиторов, ускоряющих схватывание бетона, могут потребоваться комбинации добавок-замедлителей, особенно когда температура окружающей среды и смеси превышает 35°C. Аналогичным образом при использовании ингибиторов, замедляющих схватывание бетонной смеси, могут добавляться ускорители твердения для обеспечения заданного роста прочности бетона.

Бетоны, содержащие нитриты щелочных металлов, хроматы и бензоаты, легко подвержены высолообразованию и могут образовывать белую пленку на поверхности затвердевшего бетона, если выдержка во влажном режиме используется в течение продолжительного времени.

Механизм реакции для большинства анодных ингибиторов состоит в окислении растворимого оксида двухвалентного железа и образовании защитной пленки из гидроксида железа на поверхности стали. Постепенно из области действия коррозии исключаются новые участки поверхности стали, и процесс коррозии прекращается. Эффективное замедление обеспечивается только при достаточном количестве добавки, отвечающем необходимому для данной системы отношению ингибитор : хлорид. Если это отношение мало, то конкурирующие реакции восстановления защитной пленки ионом NO<sub>2</sub> и разрушительного действия хлоридов происходят одновременно, причем последняя реакция начинает преобладать. Коррозия интенсивно локализуется, и возникает опасная точечная коррозия.

Катодные ингибиторы действуют либо путем замедления катодной реакции, либо путем селективного осаждения на катодных площадках, что вызывает увеличение электрического сопротивления и уменьшение диффузии продуктов восстановления к катоду. Продукты реакции при этом не связываются с металлом так же сильно, как продукты, полученные при применении анодных ингибиторов.

Неорганические добавки, представляющие собой сильные основания, обычно увеличивают pH среды, вызывая уменьшение растворимости ионов железа.

Для того чтобы добавки уменьшали коррозию стальной арматуры, растворимость добавки должна быть такой, чтобы на корродирующих поверхностях имелось достаточное ее количество. Однако при сильной растворимости она легко выщелачивается из бетона. Нитрит натрия выщелачивается в течение двух лет, в то время как нитрит кальция, который растворим в меньшей степени, более эффективно замедляет коррозию.

Многие добавки, являющиеся основаниями, быстро осаждаются в цементном растворе и, следовательно, теряют свою эффективность.



Вследствие того, что ингибиторы используются в малых количествах, они, как правило, рассеяны по всему объему, а не концентрируются на границе бетона и стали. Недостаточная концентрация анодных ингибиторов приводит к ускоренной коррозии.

Эффективность анодных ингибиторов непосредственно зависит от содержания хлорида в бетоне. При достаточно большом содержании хлорида их эффективность резко уменьшается, и для предотвращения вредного воздействия хлорида требуется введение большого количества ингибитора. Для каждого ингибитора существует критическая концентрация хлорида, ниже которой коррозия приостанавливается.

Цементы, содержащие большее количество  $C_3A$ , обеспечивают более высокую коррозионную стойкость; портландцементы обладают лучшими антикоррозийными свойствами по сравнению со шлакопортландцементом и пуццолановым цементом.

При попеременном увлажнении и высушивании, особенно при повышенных температурах, интенсивность коррозии стали в бетоне возрастает. При таких условиях эффективность добавок-ингибиторов может уменьшаться.

Эффективность органических катодных ингибиторов часто связана с их молекулярной структурой, которую определяют размер молекул, тип связей, длина углеродных цепочек, число боковых групп, пространственное расположение и комплексообразующая способность.

Удобоукладываемость (это характеристика, определяемая значениями пластичности) улучшается при внесении большинства добавок (до 2%), состоящих из неорганических солей. При более высоких дозах добавок удобоукладываемость снижается, особенно если в смеси присутствует  $CaCl_2$ .

Органические ингибиторы, такие как бензоат натрия, как правило, не уменьшают удобоукладываемость.

При использовании большинства неорганических добавок, в том числе нитритов натрия и кальция, наблюдается уменьшение начала и конца времени схватывания.

Неорганические соли влияют на теплоту гидратации примерно так же, как ускорители. Через трое и семь суток наблюдается весьма незначительное изменение прочности при сжатии для бетонов и растворов, содержащих нитрит натрия и хромат калия. Через 28 суток прочность немного ниже, чем у бетонов и растворов без добавок. Более высокие дозы добавок вызывают существенное уменьшение прочности через 28 суток. Прочность бетонов и растворов, содержащих бензоат натрия в рекомендуемой дозе 6%, значительно снижается в любом возрасте. При повышении дозы происходит резкое снижение прочности.

Добавление любой дозы органических ингибиторов обычно приводит к снижению пределов прочности, причем этот эффект возрастает с увеличением дозы. В противоположность этому нитрит кальция дает существенное увеличение прочности в раннем и более позднем возрасте. Значения предела прочности возрастают с увеличением дозы до 5%. Фосфат натрия и двухлористое олово в дозах 2–4% также увеличивают прочность. Предельное значение прочности при растяжении зависит от вида используемой добавки. Для нитрита и бензоата натрия предел прочности уменьшается с увеличением дозы, начиная с 2–4% [3].

При введении хромата калия наблюдается небольшое изменение прочности по мере увеличения дозы выше 2–6%. Нитрит кальция увеличивает предел прочности в любом возрасте с увеличением дозы до 5% как для обычного, так и для пропаренного бетона. Аналогичный эффект обнаружен и при применении двухлористого олова.



Ингибиторы на основе солей натрия могут увеличивать защитный потенциал реакции заполнителя со щелочью, особенно если используются реакционноспособные заполнители. Некоторые ингибиторы коррозии влияют на сцепление стали с бетоном вследствие слабого сопротивления цементного теста в контактной зоне. Это объясняется двумя причинами: во-первых, сильной флокуляцией цементного теста, вызываемой растворителями (например, спиртом), в которых растворяется ингибитор, а, во-вторых, отсутствием непосредственного контакта между продуктами гидратации цемента и сталью из-за наличия на поверхности стали пленок, предотвращающих образование ржавчины.

Хромат калия окрашивает бетон в светло-зеленый цвет, в то время как нитрит натрия и бензоат натрия способствуют его обесцвечиванию.

*Факторы, влияющие на замедление коррозии.* Растворимость добавки должна быть такой, чтобы на корродирующих поверхностях имелось достаточное ее количество. Однако при сильной растворимости она легко выщелачивается из бетона. Нитрит натрия выщелачивается в течение двух лет, в то время как нитрит кальция, который растворим в меньшей степени, более эффективно замедляет коррозию.

Многие добавки, являющиеся основаниями, быстро осаждаются в цементном растворе и, следовательно, теряют свою эффективность.

Вследствие того, что ингибиторы используются в малых количествах, они, как правило, рассеяны по всему объему, а не концентрируются на границе бетона и стали. Недостаточная концентрация анодных ингибиторов приводит к ускоренной коррозии.

Эффективность анодных ингибиторов непосредственно зависит от содержания хлорида в бетоне. При достаточно большом содержании хлорида их эффективность резко уменьшается, и для предотвращения вредного воздействия хлорида требуется большое количество ингибитора, что отрицательно сказывается на свойствах цементного клинкера.

Выпуск ингибиторов коррозии в широких масштабах и их промышленное использование осуществляются сравнительно недавно. Обычно допускают применение ингибиторов в противоморозных добавках. Для оценки этих добавок используются разнообразные методы испытаний, разработанные в процессе создания и развития технологии.

В настоящее время при исследовании процессов коррозии наиболее эффективными как в производственных, так и в лабораторных условиях по-прежнему остаются электрохимические методы измерений, наиболее широко распространены измерения электрического потенциала стали в разомкнутой цепи и поляризационные измерения стали в бетонах при наличии или отсутствии хлоридов.

Измерения поляризации особенно эффективны при быстром отборе и оценке добавок. Результаты измерений электрического напряжения в бетонах, содержащих различные дозы добавок, можно графически представить как функцию времени при постоянных значениях плотности поляризационного тока на единицу площади электрода.

Критерием эффективности добавки является резкое увеличение при малых значениях плотности тока, что указывает на пассивацию. Чем меньше плотность тока, при которой возникает резкое увеличение напряжения, тем более эффективным является ингибитор.

Постепенное увеличение напряжения указывает на развитие процесса коррозии. Поляризационный метод можно также использовать для контроля качества различных замесов с целью обеспечения однородности добавки.



При оценке ингибиторов коррозии нужно принимать во внимание следующие факторы: степень водорастворимости; совместимость с водоцементной фазой; требуемое количество ингибитора; степень потребления ингибитора; различные побочные эффекты, влияющие на процесс схватывания, прочность и долговечность.

Наиболее перспективным направлением улучшения качества цементных и бетонных смесей является применение комплексных химических добавок. Это обусловлено стремлением максимально использовать положительные и устранить отрицательные свойства индивидуальных добавок, главным образом ПАВ и ускорителей твердения. Правильно сочетая типы и количественные соотношения добавок, можно направленно регулировать структуру и, соответственно, физико-механические свойства цементного камня и бетона. Основными преимуществами комплексных добавок перед индивидуальными являются:

- полифункциональность действия, т.е. способность одновременно вызывать несколько эффектов (например, увеличивать подвижность смесей, ускорять твердение и ингибировать стальную арматуру);
- способность усилить какой-либо эффект по принципу аддитивности (например, воздухоовлечение, снижение водопотребности смеси и т.д.);
- возможность нейтрализации нежелательных последствий отдельных добавок, входящих в композицию (например, нейтрализация тормозящего действия ПАВ на гидратацию цемента одновременным введением добавки ускорителя твердения и т.п.);
- способность выравнивать общий эффект воздействия добавок на цементы различного состава;
- способность предупреждать или сокращать деструктивные процессы и ускорять твердение бетона при тепловой обработке изделий.

В настоящее время сложились и успешно развиваются четыре основных направления модификации бетона комплексными добавками.

Первое направление предусматривает применение ПАВ главным образом пластифицирующего действия и электролитов – ускорителей твердения. Широкое распространение получили комплексы на основе технических лигносульфонатов (ССБ, СДБ, ЛСТ) или СП с хлоридом кальция и другие. При таком сочетании добавок электролиты устраняют замедление твердения, вызванное ПАВ, и формируют более плотную структуру цементного камня вследствие образования кристаллизационного каркаса преимущественно из двойных солей гидратов и их последующего обрастания высокодисперсными гидросиликатами кальция. В свою очередь, ПАВ, снижая водоцементное отношение в бетонной смеси, благоприятно влияют на формирование кристаллизационного каркаса в присутствии электролитов. Такое сочетание добавок позволяет формировать структуру смешанного типа с условно замкнутыми порами в более плотном и менее проницаемом цементном камне, что в конечном итоге приводит к снижению расхода цемента на 10–12% либо к сокращению продолжительности тепловой обработки на 15–20%. Комплексные добавки этой группы повышают морозостойкость бетона и его водонепроницаемость в результате формирования более плотной структуры с пониженным содержанием капиллярных пор.

Среди комплексных добавок данного направления наибольшее распространение получила комплексная добавка на базе ЛСТ и сульфата натрия (СН). Оптимальные результаты были получены при введении в бетонные смеси технических лигносульфонатов (ЛСТ) – 0,2% – в сочетании с сульфатом натрия (СН) – 0,5%. Применение данной



комплексной добавки позволяет снизить расход цемента на 7–15% или сократить время тепловой обработки на 3 ч.

Второе направление основано на применении добавок пластифицирующего типа в сочетании с регуляторами структуры, главным образом микрогазообразующего действия. Больше производственное значение получили комплексы на основе лигносульфонатов (ССБ, СДБ, ЛСТ) с СНВ или ГКЖ-94. Эти комплексы широко используются при строительстве ответственных сооружений транспортного и гидротехнического строительства. С помощью лигносульфонатов снижается водопотребность бетонной смеси, а с помощью СНВ или ГКЖ-94 достигается поризация бетона с дополнительной гидрофобизацией поверхности капилляров и пор. При этом следует подчеркнуть, что добавки СНВ и ГКЖ-94 образуют систему замкнутых пор, резко уменьшая количество сообщающихся капилляров. Поэтому комплексные добавки этой группы существенно повышают морозостойкость бетона, его водонепроницаемость и стойкость в агрессивных средах. Еще больший технико-экономический эффект достигается при использовании в составе комплексов добавок СП, например С-3.

Третье направление применения комплексных добавок включает в себя добавки пластифицирующего действия в сочетании с микрогазообразователями и ускорителями твердения бетона. Использование комплексов на основе ЛСТ, С-3, сульфата натрия и ГКЖ-94 обеспечивает высокую скорость твердения бетона с одновременным повышением морозостойкости и коррозионной стойкости железобетонных конструкций.

Четвертое направление предусматривает использование комплексных электролитов, в том числе солей азотной и азотистой кислот, защищающих стальную арматуру от коррозии в сочетании с эффективными ускорителями твердения бетона, например хлоридами, а также обеспечивающих твердение бетона при отрицательных температурах. Использование комплексных добавок этой группы приводит к снижению расхода цемента на 10%, или сокращает время тепловой обработки на 20–30%. Введение хлористого кальция вместе с пластифицирующими добавками приводит к изменению характера температурных кривых. Резко сокращается индукционный период, увеличивается скорость подъема температуры и максимальная температура; спад температуры происходит значительно быстрее. Таким образом, введение комбинированных добавок увеличивает тепловыделение, а значит, и скорость гидратации.

Одновременно было установлено, что комплексные добавки снижают количество пор в цементном камне примерно на 4% в сравнении с количеством пор цементного камня с единичными добавками.

Результаты испытаний комплексных добавок в бетонах показали, что в равнопрочных бетонах оно обеспечивает снижение расхода цемента от 6 до 24% в зависимости от вида добавок, расхода цемента, вида песка и условий твердения. Относительный эффект выше при меньших расходах цемента (ниже  $340 \text{ кг/м}^3$ ), применении жестких и полужестких смесей и природных песков, а также при пропаривании. Наиболее целесообразно применять исследованные комплексные добавки при производстве сборных железобетонных изделий.

Повышение прочности бетона в присутствии комплексной добавки достигается за счет снижения В/Ц на 8–12%. В результате расход цемента для достижения бетона заданной прочности снижается на 10–15%. Если в составе комплексных добавок обычный пластификатор заменить на суперпластификатор, то появляется возможность использования литых бетонных смесей для конструкций, подвергаемых тепловой обработке по коротким режимам без снижения прочности бетона.



Комплексные добавки для защиты стальной арматуры от коррозии применяются, как правило, в бетонах с пониженными защитными свойствами по отношению к стали (например, в арболите, гипсобетоне и его модификациях), а также при введении значительного количества активных заполнителей, когда щелочность жидкой фазы снижается до критического значения концентрации водородных ионов (рН меньше 11,8), обязательным является применение ингибиторов коррозии арматуры в сочетании с другими видами добавок. Хороший эффект дает применение комплексных добавок типа ингибитор + пластификатор. Совместное введение в бетон добавок этих групп позволяет снизить проницаемость защитного слоя бетона и обеспечить надежную защиту арматуры в бетоне от воздействия агрессивных веществ. Применение большинства комплексных добавок вызывает незначительное увеличение капитальных затрат, связанных с оборудованием узла приготовления химических добавок. Однако эти затраты многократно окупаются за счет сокращения затрат на последующий ремонт и восстановление строительных конструкций в период их эксплуатации. Наиболее распространены комплексные добавки на основе лигносульфонатов в сочетании с нитритом натрия, нитрит-нитратом кальция, нитрит-нитрат-сульфатом натрия. Эти добавки защищают стальную арматуру от коррозии в слабо- и среднеагрессивных средах с относительной влажностью воздуха до 60%, в том числе и содержащих хлор и хлорид водорода. Добавки вводят с водой затворения в количествах: ЛСТ и его модификации 0,1–0,5%; ННК 3–4%; нитрит натрия 1–2% от массы цемента.

Таким образом, комплексное использование химических добавок в цементные и бетонные смеси позволяет улучшить качество строительных композиций, снизить скорость коррозии цементного клинкера и стальной арматуры, придать полезные свойства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавржин, Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Вавржин, Р. Крчма ; пер. с чешского. – М. : Стройиздат, 1994. – 270 с.
2. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон. / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М. : Стройиздат, 2008. – 215 с.
3. Пособие по применению химических добавок в производстве сборного железобетона. – М. : НИИЖБ, 1991. – 35 с.

#### *N.S. Stupen. Effective Additives in Cement and Concrete Composition*

In the article is an analytical review of effective additives in cement and concrete-like songs, which improve the properties of concrete.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 24.09.2012