

СОХРАНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ, ПОДАЧЕ И УКЛАДКЕ В ОПАЛУБОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Г.А. АФАНАСЬЕВ, канд. экон. наук, ООО «Строительное снабжение»

Ключевые слова: модифицированные бетоны, суперпластификаторы, микронаполнители, реологические и технологические свойства, добавки – регуляторы подвижности бетонной смеси, блокирующий эффект

Keywords: modified concretes, superplasticizing admixtures, micro-fillers, rheological and technological properties, additives – regulators of a concrete mixture mobility, blocking effect

Рассматривается опыт применения модифицированных бетонов в строительном производстве. Применение химических добавок и микронаполнителей – перспективное направление регулирования технологических и реологических свойств бетонной смеси и повышения физико-механических характеристик бетона. Добавки в виде суперпластификаторов обеспечивают снижение расхода цемента до 20% и повышают физико-механические характеристики в период суточного набора прочности бетона до 50–60%. Установлено влияние химического состава цементов на интенсивность набора прочности бетонов. Ряд цементов при взаимодействии с суперпластификатором обладают блокирующим эффектом. Рассмотрены свойства добавки ЛИГНОПАН при проведении бетонных работ в строительном производстве. Рассмотрено влияние комплексных добавок, обеспечивающих сохранение подвижности бетонных смесей до 4–5 ч.

В настоящее время большая часть бетона производится с обязательным использованием модифицирующих добавок физического, физико-химического или химического действия. Применение модификаторов полифункционального действия позволяет целенаправленно регулировать: структуру бетонных смесей и бетонов; реологические свойства смесей; кинетику твердения; физико-механические свойства.

В строительном производстве возможно ослабление конструкций за счет неблагоприятных факторов: отклонение в ресурсах и расположении арматуры, несоответствие прочности бетона в контрольных образцах, нарушение технологии транспортировки, уплотнения и ухода за бетоном, влияние температурных факторов среды. Снижение требований к средней прочности бетона позволяет уменьшить расход цемента и снизить стоимость конструкций.

Применение химических добавок и микронаполнителей – одно из перспективных направлений регулирования технологических свойств бетонной смеси и повышение физико-механических характеристик бетонов. Находит применение большое количество добавок, которые можно

классифицировать по химическому составу, механизму действия, основному техническому и технологическому эффекту и другим свойствам.

Добавки разделяют на пластифицирующие, воздуховолекающие, ускорители или замедлители твердения, ингибиторы, предохраняющие арматуру от коррозии и др.

Добавки от 0,1 до 2,5% от массы цемента используют для снижения его расхода, улучшения технологических свойств смесей, снижения сроков распалубки конструкций за счет быстрого набора прочности, повышения морозостойкости, теплотехнических свойств бетонов, водогазонепроницаемости, усиления защитного действия бетона по отношению к стальной арматуре.

Эффект действия добавок заключается в изменении следующих свойств:

- при неизменном В/Ц и прочности бетона осадка конуса бетонной смеси возрастает в 5–8 раз;
- при одинаковом расходе цемента и подвижности смеси ее водопотребность снижается на 12–25%, в результате прочность бетона повышается на 20–50%;
- при неизменных кинетике твердения и прочности бетона расход цемента снижается до 20% [1].

Особое значение приобретают добавки, регулирующие потерю подвижности бетонной смеси во времени (скорость процессов схватывания и тепловыделения), а также придающие уложенной бетонной смеси способность твердеть при отрицательных температурах.

Среди российских добавок с эффектом существенного замедления схватывания следует отметить ЛИНАМИКС СП-180 завода «Полипласт», которая не только сохраняет подвижность смеси в течение 3–4 ч, но и повышает прочность бетона.

Наряду с индивидуальными добавками все большее распространение получают комплексные. Они обладают более универсальным эффектом. Соединение разнородных добавок дает возможность ослабить или усилить положительные особенности каждого из компонентов.

Наибольшим технологическим эффектом обладают суперпластификаторы. Они приготавливаются на основе меламино- и нафталиноформальдегидных смол и других компонентов (см. табл.).

Таблица. Основные виды суперпластификаторов и комплексных добавок

Наименование суперпластификатора	Условное обозначение	Рекомендуемое количество добавки % по массе цемента	Снижение расхода цемента
Сульфированные меламиноформальдегидные смолы	10-03 НИЛ-10	0,3-0,9 0,3-0,9	10-20 10-20
Продукты конденсации нафталиносulфо кислоты	С-3 30-03	0,4-1,0 0,4-0,8	10-20 10-20
Модифицированные лигносульфонаты	ЛТМ ЛСТМ НИЛ-20 МТС-1	0,5-0,9 0,15-0,5 0,4-0,6 0,3-0,6	10-20 - 5-8 5-8
Комплексная добавка на базе лигносульфонатов	Лигнопан	0,2-0,3	10-12
Комплексные минералохимические добавки	КМХ	до 0,3	до 20
Добавки группы «Полипласт»: лигносульфонаты натрия, неорганические натриевые соли и др.	Полипласт, П-1, СП-1 СП-1Л, СП-3, СП-4	0,4-0,8	до 20

Основное назначение суперпластификаторов – снижение вязкости и разжижение бетонной смеси до высокоподвижной и литой консистенции, что обеспечивает подачу смеси бетононасосным транспортом. Введение суперпластификатора в количестве 0,3-0,6% обеспечивает снижение расхода цемента до 20% и повышает физико-механические характеристики бетона.

Суперпластификаторы на ранних стадиях взаимодействия цемента с водой дезагрегируют и частично пептизируют цементные частицы до крупных образований вследствие адсорбции поверхностно активных веществ на твердой фазе и экранирующей силы межмолекулярного притяжения. Они способствуют увеличению доли мелких частиц и, соответственно, действующей поверхности цемента, что

повышает скорость его гидратации, но, в свою очередь, замедляет процесс структурообразования. Полное протекание процессов гидратации способствует образованию однородной мелкокристаллической структуры. В результате адсорбции олигомера количество воды сольватных оболочек снижается, суспензия разжижается, подвижность смеси резко возрастает.

На рис. 1 приведены графики изменения подвижности бетонной смеси при введении суперпластификатора С-3 в количествах 0,4%, 0,8% и 1,2% от массы цемента. По отношению к контрольной смеси без добавки изменение подвижности возрастает с 2 см осадки конуса до 10 см при объеме добавки 0,4% (кривая 2), до 18 см при 0,8% (кривая 3) и до 22 см при 1,2% (кривая 4).

Отличительной особенностью суперпластификаторов является кратковременность их действия. Спустя 1,0-1,5 ч после их введения подвижность смесей резко снижается. Это обстоятельство требует укладки смеси в опалубку в промежуток времени, когда суперпластификатор еще оказывает действие [2, 3].

Введение суперпластификаторов снижает фактор В/Ц и повышает однородность бетонной смеси. Известно, что неоднородность структуры бетона вызвана рядом факторов, к которым следует отнести:

- изменение свойств компонентов бетонной смеси;
- неоднородность контактной зоны с дефектными микротрещинами, воздушными порами и объемами.

Большое влияние на неоднородность физико-механических характеристик бетона оказывают: качество и загрязненность заполнителя; его гранулометрический состав; режим перемешивания и введения добавок; неоднородность распределения компонентов смеси по объему; колебания в режимах тепловой обработки; нарушения в технологии ухода за бетоном и др.

При выполнении всех условий подбора состава бетона и требований к заполнителям введение суперпластификатора снижает вязкость прослойки между крупным и мелким заполнителем, поглощается часть химически несвязанной воды, заполняются трещины и другие дефекты заполнителя [4, 5].

Снижение вязкости системы обеспечивает миграцию заземленной воздушной прослойки при уплотнении смеси. В целом достигается более однородная структура бетона. Практически получаем матрицу с повышенными физико-механическими характеристиками контактной зоны и объема между крупным заполнителем.

Наиболее исследованной и широко применяемой добавкой является суперпластификатор С-3. Его введение при приготовлении бетонной смеси позволяет снизить В/Ц отношение и, соответственно, повысить физико-механические характеристики бетона. Так, введение С-3 в количестве от 0,4 до 0,8% от массы цемента приводит к снижению В/Ц до 0,30-0,42 для бетонных смесей с осадкой конуса 10-15 см при одновременном увеличении прочностных характеристик.

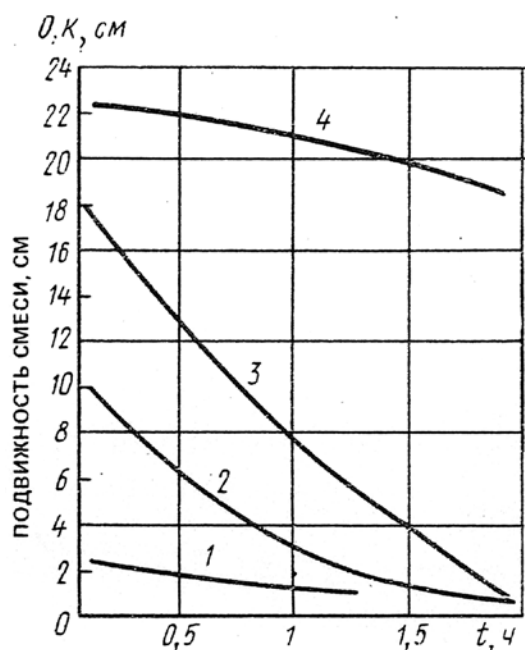


Рис. 1. Изменение подвижности бетонной смеси с добавкой С-3: 1 – без добавки; 2 – С-3 в количестве 0,4%; 3 – 0,8%; 4 – 1,2%

Наиболее важным показателем модифицированных смесей является ранний набор прочности. При введении С-3 в количестве 0,5 до 1,5% от массы цемента достигается набор прочности через 12 ч после укладки и уплотнения смеси 25-40 МПа, а через 24 ч – 32-48 МПа (рис. 2).

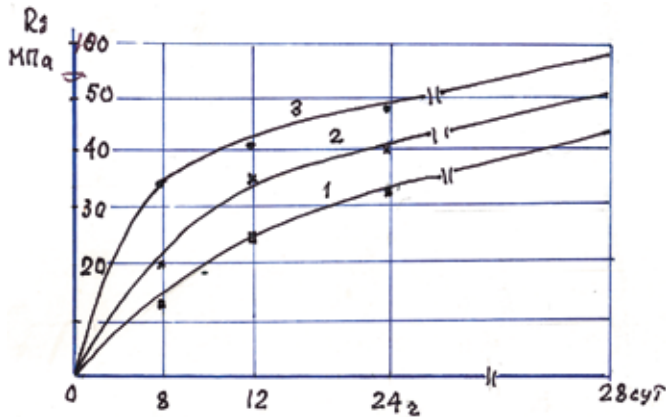


Рис. 2. Кинетика набора прочности тяжелым бетоном с добавкой С-3 (% от массы цемента): 1 – 0,5%; 2 – 0,8%; 3 – 1,5%

Более четкая картина зависимости набора прочности от дозировки содержания суперпластификатора приведена на рис. 2, где с увеличением добавки экспонентно возрастает прочность при времени твердения 8-12 ч. В дальнейшем в возрасте бетона 28 суток влияние дозировки суперпластификатора несколько нивелируется.

Более детальные исследования свидетельствуют о существенном влиянии химического состава цементов на интенсивность набора прочности и дозировки суперпластификатора. Это требует оптимизации дозировки суперпластификатора и режима твердения для каждого состава бетона.

Решение основных технологических задач монолитного домостроения привело к созданию комплексных добавок ЛИГНОПАН и КМХ. Добавки серии ЛИГНОПАН Б в своей основе содержат лигносульфонаты, очищенные от сахаров и оптимизированные по молекулярной массе. Кроме того, в добавки введены ускорители твердения, противоморозные и другие компоненты. ЛИГНОПАН Б экологически безопасен и нетоксичен (ТУ 2601-002-20127879-96), выпускается в сухом виде и в виде водных растворов.

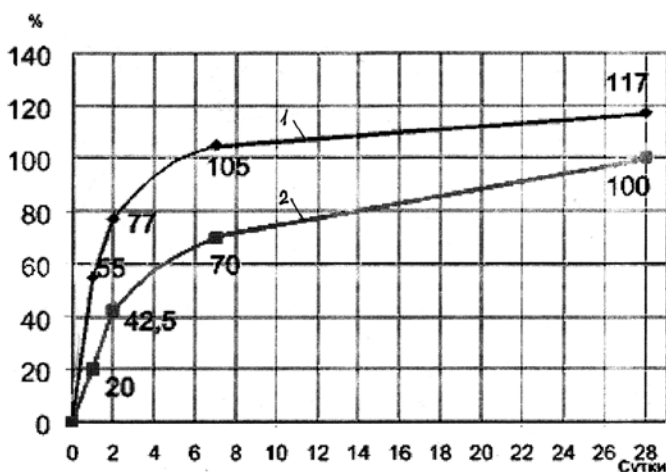


Рис. 3. Набор прочности модифицированным бетоном класса В40: с добавкой ЛИГНОПАН Б-2 (1) и без добавки (2)

Основная добавка ЛИГНОПАН Б-1 является суперпластификатором для товарных бетонов класса В20-В35. При дозировке 0,25-0,3% от массы цемента подвижность бетонной смеси возрастает с П1 до П3. При сохранении подвижности достигается снижение расхода воды и повышение прочности бетонов на 30-40%. В зависимости от расхода она может выступать как замедлитель схватывания.

Добавка ЛИГНОПАН Б-2 более универсальна и обладает пластифицирующе-ускоряющим действием.

При введении 0,9-1,5% ЛИГНОПАН Б-2 (рис. 3) позволяет снизить содержание воды в бетонной смеси и получать на вторые сутки прочность бетона в пределах 75-80% от проектной. Кроме того, данная добавка обладает водоудерживающим эффектом, что снижает расслаиваемость подвижных смесей. Это обстоятельство исключительно важно в строительном производстве при транспортировке и укладке смесей в опалубочные системы.

Для получения бетонов с высокими показателями по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости используется комплексная минерало-химическая добавка КМХ. Ее введение в бетонные смеси повышает удобоукладываемость, превращая их в высококачественные и литые смеси при одновременном повышении физико-механических характеристик в 1,5-2 раза, морозостойкости – до F1000, водонепроницаемости – до W20.

Такие бетоны целесообразно применять при возведении ответственных инженерных сооружений, рассчитанных на длительную эксплуатацию в агрессивных условиях.

Представляет практический интерес добавка БИОПАН-7, которая является пластифицирующей, воздухоовлекающей, обеспечивает высокие показатели по морозостойкости и стойкости к агрессивным средам. Прирост прочности от ее введения составляет до 50%, что является следствием изменения морфологии кристаллогидратов цементного камня с образованием мелкодисперсных фаз, существенно уплотняющих структуру цементного камня. Добавка обеспечивает сохранение подвижности смесей до 4 ч и более ранний набор прочности.

Экономия цемента без ухудшения свойства бетона достигается с использованием суперпластификатора совместно с активными минеральными добавками. Так, применение золы с помолотом до 3500 куб. см/г с одновременным введением суперпластификатора позволяет экономить до 30% цемента в высокопрочном бетоне.

Дальнейшие разработки комплексных добавок на основе поликарбонатов привели к созданию гиперпластификатора ХИДЕТАЛ ГП-9 с его разновидностями: α – для продукции сборного железобетона; β – для товарного бетона; γ – с ускоряющим эффектом набора прочности; δ – для зимних условий выдерживания бетона.

Основные характеристики гиперпластификатора предусматривают:

- дозировку от 0,5% до 1,2%;
- получение осадки конуса смеси до 25 см и диаметр распыла конуса около 63 см;
- достигается сохранность подвижности без уменьшения осадки конуса в течение 3,5 ч;

- сокращение расхода воды до 40%;
- полное отсутствие расслаиваемости смеси.

Практика монолитного домостроения показала, что в ряде случаев введение суперпластификатора приводит к замедлению набора прочности бетона, что проявляется в блокирующих функциях на различные виды цемента. При этом начало схватывания цемента замедляется на 5–24 ч. Установлено, что блокирующий эффект наблюдается при превышении суперпластификатора более 1%, а также при использовании цементов различного химического свойства. Особая роль в замедлении твердения отводится наличию в цементах добавки гипсового камня. Как его недостаточная дозировка, так и передозировка увеличивают сроки начала схватывания в 2–3 раза, а конец схватывания – в 3–3,5 раза. Это обстоятельство существенно снижает темпы строительства и приводит к непрогнозируемому режиму набора прочности.

Интенсивность набора прочности бетонов при введении суперпластификаторов существенно зависит от химического состава цементов. Так, для продукции Оскольского, Белгородского и Брянского заводов при введении С-3 в объеме 0,3–0,5% от массы цемента (рис. 4) наблюдается замедление набора прочности бетона на 24–48 ч [2].

При введении С-3 0,3–0,5% твердение замедляется в первые сутки, при 0,5% – сильно блокируется, но затем за 2–3 суток происходит резкий набор прочности.

Для продукции АО «Мордовцемент» замедление набора прочности не происходит даже при вводе суперпластификатора в объеме 1,5% от массы цемента.

Одним из важнейших условий эффективного применения добавок является необходимость использования стабильных составов бетонных смесей. На этой основе проводится выбор вида добавок и их количественных соотношений. Это требует комплексных исследований оценки их действия на изменение реологических свойств бетонных смесей и интенсивности набора прочности для конкретных цементов, что является необходимым условием успешного применения добавок.

В практике отечественного и зарубежного домостроения максимальное применение нашли авто- и прицепные бетононасосы с распределительными стрелами, обеспечи-

вающими подачу смеси в радиусе от 12 до 40 м. При интенсивности подачи до $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ сменная производительность может достигать $80\text{--}100 \text{ м}^3$.

При использовании крановой подачи смеси в бадьях емкостью $1\text{--}2 \text{ м}^3$ сменная производительность достигает $40\text{--}50 \text{ м}^3$, но при этом требуется применение более мощных грузоподъемных кранов, что существенно влияет на себестоимость работ.

При возведении стеновых систем зданий большое влияние на себестоимость работ оказывает качество опалубки и ее оборачиваемость. Так, при использовании щитовой опалубки достигается оборачиваемость более 200 циклов. Это обстоятельство связано с применением специальных противoadгезионных покрытий, обеспечивающих получение вертикальных и горизонтальных лицевых поверхностей высокого класса.

Возведение каркасных зданий чаще всего сочетается с использованием в качестве бетоноукладческого комплекса бетононасоса с круговой распределительной стрелой – при возведении перекрытий и укладке смеси по схеме «кран-бадья» – для колонн.

При выполнении бетонных работ должны соблюдаться требования СНиП «Несущие и ограждающие конструкции». В частности, сбрасывание бетонной смеси в опалубку ограничивается для перекрытий высотой до 1 м, для стен – 4,5 м, для колонн – до 5 м.

Для получения качественного бетона с заданными физико-механическими свойствами бетонные смеси при возведении стен уплотняются глубинными вибраторами с частотой до 12 тыс. кол./мин. и продолжительностью воздействия от 5,0 до 12,0 с.

Бетон перекрытий сначала уплотняют глубинными вибраторами с гибким валом, а затем обрабатывают поверхность виброрейками и затирочными машинами.

В заключение следует отметить, что применение модифицированных бетонов решает не только экономические, но и социальные вопросы.

Сокращение ручного труда снижает нагрузку на рабочих, исключает вредное воздействие вибрации и шума на организм, обеспечивает достойную зарплату. В целом с учетом производства работ по отдельным этапам складывается общая оценка себестоимости готовой продукции при ее соответствии нормативно-техническим и эксплуатационным требованиям.

Библиографический список

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны, М., 1998, – с. 768.
2. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Стр-е материалы, оборудование, технологии XXI века, №10, 2001, с. 24–25.
3. Носков А.Е. Современные пластифицирующие добавки для бетона // Технологии бетонов, №2, 2007, с. 14–15.
4. Подмазова С.А., Курьянов Н.Н., Крылов Б.А. и др., Качество бетона и стандартизация правил контроля его прочности // Технологии бетонов, №5, 2009, с. 22–23.
5. Блещик Н.П., Рак А.Н., Суходоева Н.В. Кинетика набора прочности модифицированного бетона в различных температурных условиях / Третий международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона», 2011.
6. Актуализированная редакция СП 70.1330.2012.

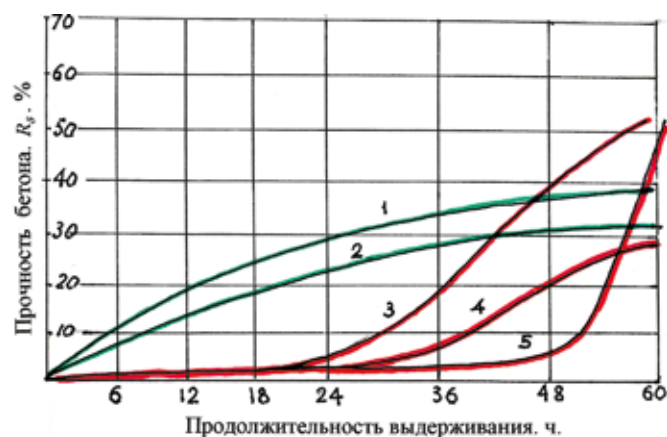


Рис. 4. Интенсивность набора прочности бетона с суперпластификатором С-3 на цементах различного химического состава: 1, 2 – портландцемент Воскресенского и Брянского заводов; 3 – Оскольского; 4, 5 – Белгородского и Мордовского заводов. Объем добавки С-3 – 0,3–0,5% от массы цемента