

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА В МОНОЛИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рунова Р.Ф., *д.т.н., проф.*, Руденко И.И., *к.т.н., с.н.с.*,
Троян В.В., *к.т.н., доц.*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Возведение монолитных конструкций предполагает ряд требований к бетонным смесям, прежде всего, в части удобоукладываемости и ее сохранности во времени, а также таким свойствам бетона, как сопротивление термофизическим напряжениям и трещиностойкость, морозостойкость и водонепроницаемость. Чаще всего предполагается длительный срок бездефектной эксплуатации массивных конструкций, превышающий 50 лет [1,2].

С учетом таких особенностей одним из определяющих условий проектирования состава бетона является выбор цемента, а наиболее отвечающими указанным требованиям к бетону представляются шлакосодержащие цементы [3]. Целесообразность использования таких цементов определяется регламентированными условиями формирования свойств бетона в монолитной конструкции, что требует их рассмотрения в эксплуатационный период.

Цель настоящих исследований - анализ экспериментальных результатов проектирования состава бетонов классов по прочности В40 и В50 на основе шлакосодержащих цементов и наблюдения за их свойствами в монолитном фундаменте, подверженном действию осадков, для подтверждения эффективности использования таких цементов.

Получение бетонной смеси марки по удобоукладываемости Р4 достигалось использованием пластифицирующих добавок полиакрилатной и поликарбоксилатной природы [4] ведущих производителей. Содержание шлака в цементе изменялось в пределах от 8 до 52%. Определение консистенции бетонных смесей выполняли в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-114-2002, тепловыделения при твердении по ДСТУ Б В.2.7-225:2009, прочности бетонов по ДСТУ Б В.2.7-214:2009, морозостойкости по ДСТУ Б В. 2.7-47 -96.

При получении бетонных смесей заданной консистенции установлено, что каждая из рассмотренных добавок имеет свою закономерность в системе «количество шлака в цементе – расход добавки – удобоукладываемость» [5]. Так, для добавки Power flow 2240 («МС

Vauchemia») установлено, что повышение содержания шлака до определенного предела требует увеличения расхода добавки (рис.1). Необходимость в увеличении расхода добавки при повышении содержания шлака связана с его высокой дисперсностью, которая приводит к адсорбции добавки его частицами и к потере эффективности ее действия в бетоне. С учетом необходимости обеспечения достаточно продолжительного времени сохранности консистенции лучшие результаты достигаются при использовании карбоксилатных пластификаторов Power flow 2240 и Sika Plast 2508 совместно с Sika Retarder, соответственно ОК = 24 см сохраняется в течение 5 час., при 2- часовой сохранности возможно использование последней без замедлителя. Класс бетона по прочности В40 и В50 обеспечивается при разных расходах цемента, содержащего разное количество шлака. Так, при использовании добавки Power flow 2240 в бетоне с расходом 420 кг/м³ цемента, содержащего 19% шлака, прочность на 28 сутки составляла 65-67 МПа, при расходе 440 кг/м³ цемента - 70-72 МПа.

Важнейшим требованием бетону на основе такого цемента является исключение термических напряжений при формировании прочности за счет тепловыделения при гидратации цемента. Выполненные исследования в адиабатических условиях твердения показали, что цемент с содержанием 19% шлака имеет удельное тепловыделение в пределах 285 кДж/кг. [6], кривые изменения температуры бетонов исследуемых составов с разным расходом цемента приведены на рис. 2. Прирост температуры бетона составляет 53-54°С, максимальный саморазогрев бетона достигает 72°С. Следовательно, процедура укладки бетона в конструкцию монолитного фундамента с модулем поверхности до 8 с учетом полученных данных и требований ДБН В.2.3-20-2008 должна учитывать, что начальная температура бетонной смеси не может превышать 16 °С. При соблюдении этого требования в конструкцию фундамента был уложен бетон с расходом цемента 440 кг/м³. Наблюдения за поверхностью бетона как в начальный период твердения, так и во времени показали отсутствие трещин, обусловленных термическим напряжением.

С учетом конструкции фундамента, подвергающегося действию осадков и промерзанию, одним из критериев безотказной эксплуатации и долговечности бетона является его морозостойкость. В случае использования цемента с достаточно высоким содержанием шлака целесообразно подвергать проверке этот показатель в кинетике формирования свойств бетона. Как показано выше, контрольные образцы бетона класса по прочности В50 на 28 суток твердения имели высокую прочность, что позволяло использовать дополнительно в его составе

воздуховлекающую добавку SikaMix+ при расходе 0,025% для повышения морозостойкости.

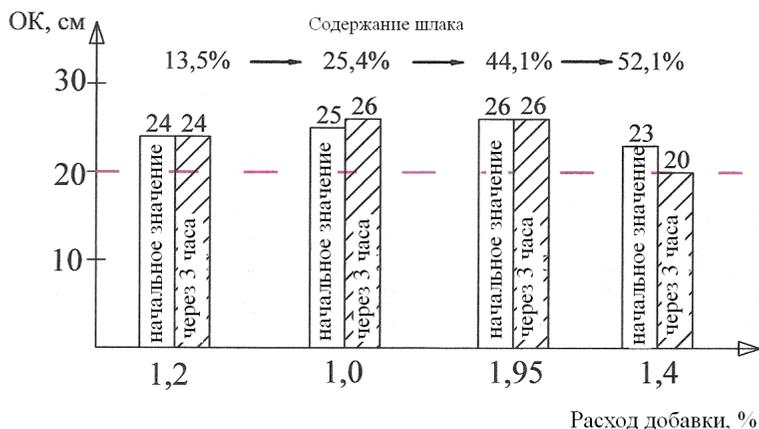


Рис.1. Зависимость удобоукладываемости бетонной смеси от содержания шлака в цементе и расхода добавки Power flow 2240

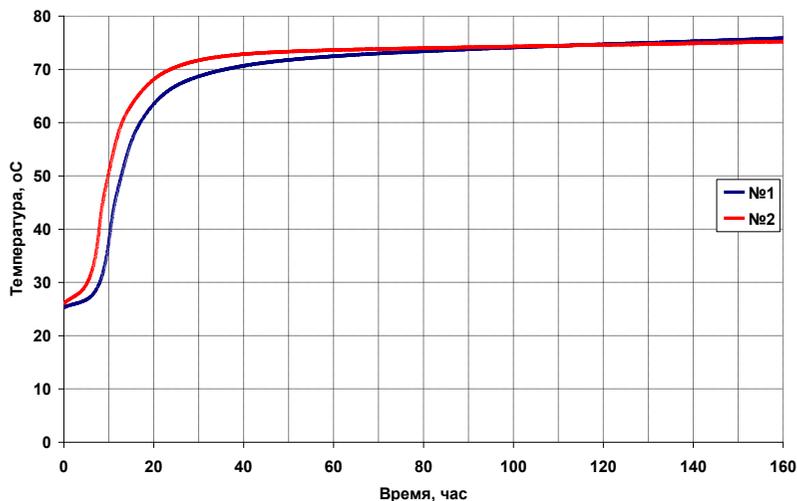


Рис. 2. Изменение во времени температуры бетонов исследуемых составов при расходе цемента 420 кг/м^3 (№1) и 440 кг/м^3 (№2)

Образцы бетона рабочего состава после 28 сут твердения в нормальных условиях подвергались испытанию на морозостойкость по

ускоренному методу № 3 согласно ДСТУ Б В. 2.7-47 -96 (насыщение соевым раствором и замораживание при минус 50°С). При получении прироста прочности после испытаний, соответствующих 150 циклам (согласно методу №1) после испытаний, соответствующих 200 циклам, зафиксирована потеря 1,9% прочности за счет некоторого шелушения поверхности. Как известно, стандарт исключает такой характер разрушения даже при невысоком показателе потери механической прочности, хотя использование столь жесткого метода испытаний, оправданного возможностью получения за короткое время искомых результатов, не дает объективной картины характеристики бетона. Следует заметить, что при испытании на морозостойкость по методу №1 образцов того же бетона, которые твердели 90 сут и имели прочность 76 МПа, после 150 циклов испытаний прирост прочности составлял 0,98%, после 180 циклов отмечены незначительные трещины без потери прочности, после 200 циклов зафиксировано падение прочности на 2,65%.

В случае регламентирования морозостойкости показателем F 200 для его обеспечения возможны дополнительные решения, в том числе применение такого распространенного в специальном строительстве, как нанесение покрытия, преграждающего доступ воды или агрессивного раствора в поры бетона. В экспериментах с затвердевшим бетоном рассматриваемых составов был использован продукт SikaGard-703W на основе силана и силоксана компании Sika как готовый к употреблению водоотталкивающий пропитывающий состав. Силоксан действует как гидрофобный компонент, силан проникает в бетон и участвует в формировании нерастворимых веществ в порах и микротрещинах. Такие образования являются непроницаемыми для воды, но достаточно проницаемыми для воздуха.

Покрытие наносилось на бетонные образцы после 3 и 6 месяцев их твердения в нормальных условиях, после чего они подвергались испытаниям по методу 3. Установлено, что при использовании пропитывающего состава прочность образцов после 150 циклов увеличилась на 5,6%, а после 200 циклов на 3,9%. Эти данные одновременно характеризуют позитивное развитие структурообразования в бетоне на основе шлакосодержащего цемента во времени.

Учитывая, что одной из наиболее распространенных причин наступления предельного состояния железобетонных конструкций является коррозия арматуры вследствие карбонизации защитного слоя бетона, актуальными являются оценка процесса карбонизации модифицированного добавками бетона на основе цемента, содержащего шлак, поскольку реакционная емкость бетона относительно CO₂ прямо пропорциональна содержанию CaO в его составе и, кроме того, зависит от порис-

тости, определяемой В/Ц. Исследованиям по ускоренной методике [7] подвергались образцы бетона с расходом 440 кг/м^3 цемента, содержащего разное количество шлака. Как видно из рис.3, помимо прочности и соответственно пористости бетона, существенным фактором, определяющим глубину карбонизации защитного слоя бетона, является содержание клинкерной составляющей цемента.

Определенный разброс значений глубины карбонизации бетонов обусловлен содержанием воздушных пор, объем которых для модифицированного бетона зависит и от характера пластифицирующей добавки. При этом минимизация карбонизации защитного слоя бетона с одной стороны достигается при повышении содержания клинкерной составляющей и снижении содержания капиллярных пор, а с другой стороны, минимальное содержание воздушных пор в бетонах, пластифицированных добавками поликарбоксилатного типа, достигается при увеличении содержания шлака, что требует поиска оптимальных решений для конкретных составов бетонов.

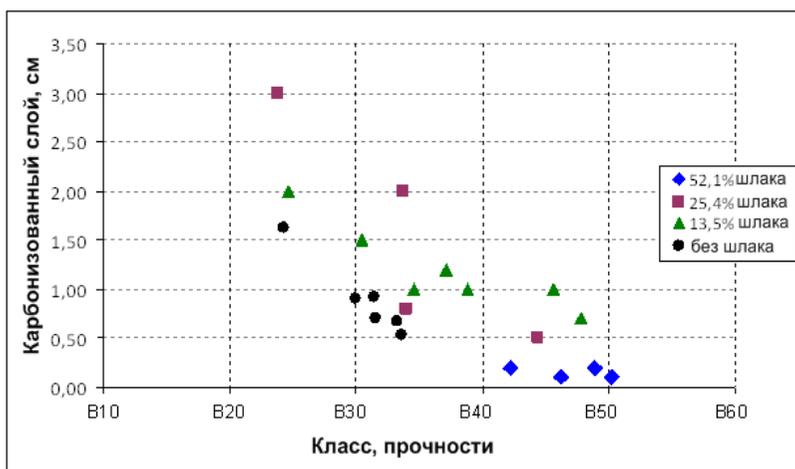


Рис. 3. Зависимость между прочностью и глубиной карбонизации бетона на цементах с различным содержанием шлака

Полученные экспериментальные результаты были использованы для обоснования долговечности бетона в конструкции монолитного фундамента путем математического моделирования по методу конечных элементов и сделан **вывод** о том, что модифицированный бетон класса по прочности B50 на основе цемента ПЦ II/A-III способен выдерживать эксплуатационные условия воздействия переменного заморажи-

вания и оттаивания и карбонизации на протяжении срока службы 100 лет.

Summary

The experimental data on design and usage for in-situ foundation of concrete based on portland cement containing blast-furnace slag. It was shown the efficiency of concrete and its durability in construction, confirmed with pouring of concrete, growth kinetics of strength, thermal crack resistance, frost- and carbonization resistance.

Литература

1. Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. Кн.1,2,3. Москва, 2001г

2. Aitcin P.-C. The art and science of high-performance concrete // Nelu Spiratos Symposium on Siperplasticizers, Bucharest, Romania, June2003, pp. 69-88.

3. Ушеров-Маршак А.В., Гергичны З., Малолепши Я. Шлакопортландцемент и бетон.- Харьков:Колорит, 2004. – 159 с.

4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика.- М.: Технопроект, 1998.-768 с

5. Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Троян В.В. Роль добавок в уменьшении клинкерной составляющей при производстве товарных бетонных смесей// М-лы 10-й Межд. научно-практ. конф. «Дни современного бетона». – Запорожье: «Планета», 2008. – с. 45 – 59.

6. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В.. Обеспечение термической трещиностойкости массивных фундаментных плит из модифицированных бетонов нового поколения. // Международная конференция "Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве". Санкт-Петербург, 2007 г., с.240-245.

7. Штарк Й., Вихт Б. Долговечность бетона./Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. Киев.: «Оранта», 2004. - 293 с.