

УДК 691.3

*Суруп В.Ю., Вице-президент,  
Перехрест А.И., канд. хим. наук,  
Начальник управления перспективного развития,  
Пашина Л.Д., Начальник центральной лаборатории  
Промышленно-Строительная Группа «Ковальская»,  
г. Киев*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ БЕТОНОВЕДЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ «КОВАЛСЬКАЯ»**

Стремительное развитие бетоноведения в конце XX начале XXI века ознаменовано следующими факторами [1,2]:

- внедрением новых олигомерных и полимерных химических добавок;
- совершенствованием технологии фракционирования заполнителей, использованием непрерывного зернового состава заполнителей;
- автоматизацией процессов приготовления бетонных смесей;
- эффективным применением активных, латентных, инертных минеральных добавок; использованием дисперсных волокнистых микрозаполнителей;
- высоким уровнем автоматизации процессов производства вяжущих (что позволяет использовать цементы с низкой степенью варьирования минералогического состава);
- совершенствованием технологии формовки изделий.

Следует отметить, что приведенный выше перечень факторов относится только к «классическому» и высокоэффективному бетону и не затрагивает принципиально новые материалы, появившиеся на рынке в последнее время: УНРС (ультравысокоэффективные бетоны), гибкие бетоны, прозрачные бетоны, «умные» бетоны и т.д. Развитие подобных материалов стало возможным благодаря совместному применению достижений технологии бетона, химии и технологии полимеров и композиционных материалов.

Данная статья посвящена реализации ряда современных тенденций бетоноведения на предприятиях ПСГ «Ковальская» - одного из лидеров строительной промышленности Украины. На предприятиях ПСГ «Ковальская» эффективно внедряются последние достижения бетоноведения благодаря использованию грамотной стратегии развития, наличию полного цикла строительства (от производства заполнителей до строительства зданий и сооружений), постоянному процессу модернизации предприятий, плодотворному сотрудничеству с ведущими производителями оборудования и химических добавок.

Современный бетон – сложный композиционный материал с регулируемой структурой и свойствами. Использование оптимального зернового состава заполнителей позволяет получить необходимую структуру конечного продукта, эффективно использовать вяжущие материалы. Большое распространение в настоящее время получило использование смесей непрерывных зерновых составов заполнителей, что позволяет получать бетонные смеси с регулируемой подвижностью и эффективным использованием цемента [1,3].

В Украине наиболее распространено использование в качестве заполнителей для производства товарных бетонов следующей системы: песок речной, щебень гранитный фракции 5÷10 мм, щебень гранитный фракции 10÷20 мм. При этом получение оптимального зернового состава заполнителей проблематично вследствие отсутствия промежуточной фракции заполнителя между песком и фракцией 5÷10 мм. На предприятиях ПСГ «Ковальская» в 2011 г. проведено широкомасштабное внедрение использования фракции 2÷5 мм собственного производства для изготовления товарных бетонных смесей и смесей для формовки сборного железобетона.

На рис. 1 показано на примере товарной бетонной смеси подвижностью Р4 изменение кривой отсева смеси заполнителей при введении фракции 2÷5 мм. Использование фракции 2÷5 мм предоставляет большие возможности для получения оптимального непрерывного зернового состава заполнителей, что в свою очередь оказывает положительное влияние на бетонные смеси

(сохранность во времени реологических характеристик, стойкость смесей к расслоению) и на бетон (однородность структуры, повышение прочностных показателей).

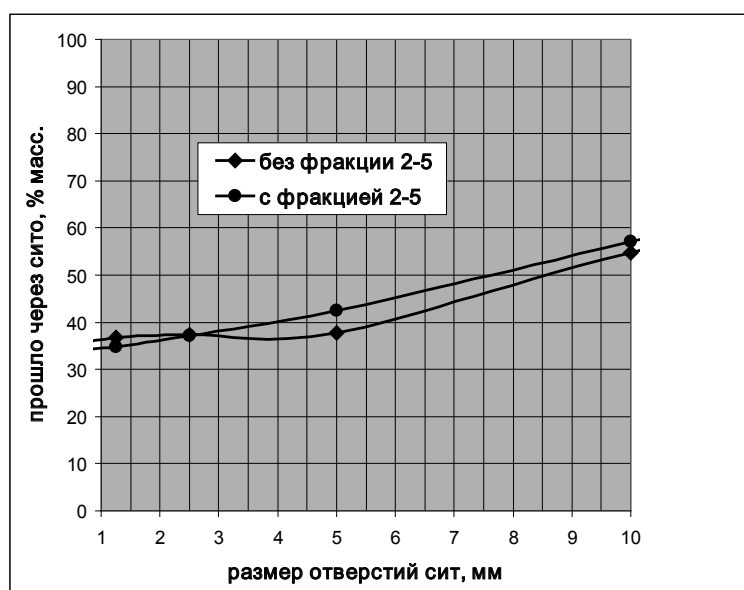


Рисунок 1 - Фрагмент кривой рассева заполнителей бетонной смеси подвижностью Р4

Особое внимание стоит уделить использованию химических добавок для производства бетонных смесей. Современные химические добавки, вводимые в бетонную смесь в наименьшем количестве (по сравнению с другими компонентами), способны кардинально изменять и целенаправленно регулировать свойства бетонных смесей и изделий на их основе. Основу современных химических добавок составляют лигносульфонаты, нафталинсульфонаты, меламинсульфонаты, поликарбоксилаты, полиакрилаты [1,2]. Следует отметить, что использование в конце XX начале XXI века достижений синтетической полимерной химии (акриловые олигомеры и сополимеры, содержащие ионогенные группы, с различной степенью разветвления) позволило получить высокоэффективные суперпластификаторы, которые работают в цементных системах одновременно по двум механизмам: электростатическому и стерическому [4-12]. Очевидно, что данное направление создания высокоэффективных суперпластификаторов будет развиваться в связи с большими возможностями в синтезе олигомеров и полимеров (сополимеров): с различными молекулярными массами, различной структурой основной цепи (гетероцепная, гомоцепная), различной природой, количеством и расположением полярных и ионогенных групп, различной длиной и природой боковых ответвлений, различной степенью разветвления [4-6, 8, 10-12].

Современные суперпластификаторы представляют собой сложные системы, включающие кроме перечисленных выше основных полимерных компонентов либо их комбинаций (например, модифицированный лигносульфонат + поликарбоксилат) также различные добавки в зависимости от целей применения: стабилизаторы, фунгициды, пеногасители, воздухововлекающие добавки, гидрофобизирующие и т.д. [2]. Создание подобных сложных систем предполагает прохождение определенных этапов: грамотная постановка задачи (степень водоредуцирующего эффекта, время сохранности подвижности бетонных смесей, необходимость воздухововлечения, скорость набора прочности бетона и т.д.); теоретический подбор различных вариантов добавок в зависимости от поставленной задачи и используемых компонентов (цемента, заполнителей), изучение взаимодействия компонентов добавок с используемой системой вяжущих, определение влияния различных вариантов добавок на бетонные смеси (реологические характеристики, склонность к расслоению, водоотделению, воздухововлечение, прочностные показатели), выбор наиболее эффективной системы. ПСГ «Ковальская» успешно применяет последние достижения в области создания суперпластификаторов, других химических добавок благодаря плодотворному сотрудничеству с компаниями «Стахема» (Словакия), а также «МЦ Баухеми» (Германия) – европейскими производителями химических добавок для бетона. При этом подробная постановка и формулировка задачи осуществляется совместно специалистами ПСГ «Ковальская» и «Стахема».

При изучении взаимодействия цементов и добавок используются современные реологические и калориметрические методы. На основании полученных результатов формируются варианты готовых добавок, которые проходят испытания в лабораториях ПСГ «Ковальская» (изучаются свойства бетонных смесей на основе данных добавок). Таким образом, на предприятиях ПСГ «Ковальская» используется широкий спектр химических добавок в зависимости от применения бетонных смесей: суперпластификаторы для товарных бетонных смесей и для сборного железобетона, пластифицирующие системы для дорожных и мостовых бетонов, промышленных полов а также строительных растворов.

В последние годы на предприятиях ПСГ «Ковальская» широкое распространение получило производство конструктивного железобетона, который используется для строительства сооружений каркасного типа комплексного (офисного, промышленного, торгового и развлекательного) назначения (рис.2). Использование конструктивного железобетона имеет ряд преимуществ: высокая производительность строительных работ, возможность проведения монтажных работ при низких температурах, гарантия качества, обусловленная тем, что основные элементы сооружения изготавливаются в заводских условиях и только после достижения требуемых прочностных характеристик и качества поверхностей отгружаются на строительную площадку. При производстве подобных ответственных изделий на предприятиях ПСГ «Ковальская» успешно применены современные достижения технологии бетона. Тщательно подобранная смесь заполнителей (в т.ч. с фракцией 2÷5 мм), использование суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов, приготовление бетонных смесей на автоматизированных БСУ (точное дозирование компонентов, оснащение смесителя консистометром, четкая выдержка заданного водоцементного соотношения благодаря использованию влагомеров), использование системы высокочастотного вибрирования при укладке бетонных смесей, применение современных смазочных материалов («Chryso», Франция, «Стахема» Словакия) гарантируют высокое качество сборных железобетонных конструкций заводов ПСГ «Ковальская». Следует отметить, что использование оптимальной смеси заполнителей и поликарбоксилатного суперпластификатора позволяет получать подвижные смеси P3, P4, для сборного железобетона (с сохранностью подвижности 40-50 мин) при водоцементном отношении  $0,28 \div 0,33$ .

Использование активных, латентных, инертных минеральных добавок позволяет эффективно использовать цемент, регулировать тепловыделение при гидратации системы вяжущих, получить оптимальную степень уплотнения твердых частиц в диапазоне  $0 \div 0,125$  мм [13, 14], придать бетону специфические свойства (например, стойкость к сульфатной агрессии). Следует также отметить, что в ряде случаев в качестве компонентов бетонных смесей могут быть использованы техногенные материалы. Таким образом, при использовании техногенных компонентов для производства бетонных смесей решается проблема загрязнения окружающей среды и использования земель под складирование техногенных материалов.

Следует отметить, что использование минеральных добавок в Украине недостаточно развито, несмотря на большие возможности. Вследствие развитой металлургической промышленности в Украине экономия использования клинкера достигается за счет использования цементов с добавками гранулированных доменных шлаков (ГДШ) и шлакопортландцементов. Однако, следует учитывать, что совместный помол клинкера и шлака не во всех случаях эффективен с точки зрения качества продукции (зависит от разности в размолоспособности клинкера и шлака) а также то, что в ряде случаев при увеличении содержания шлака выше 20 % в цементе возникают проблемы в связи с медленным набором прочности бетона, проблемы с регулированием удобоукладываемости бетонных смесей и т.д. Сочетание различных минеральных добавок (при этом одна из них уже может быть в используемом цементе) позволяет добиться необходимого баланса между потребительскими свойствами бетонов и бетонных смесей: стандартная прочность, ранняя прочность, стоимость, воздействие на окружающую среду при производстве, долговечность, удобоукладываемость, специфические свойства [15]. В табл. 1 представлены ориентировочные «достоинства» и «недостатки» различных видов минеральных добавок. Из данной таблицы видно, что, например, при использовании композиционной системы ГДШ + известняк можно добиться (одновременно с экономией клинкерной составляющей) необходимого баланса между различными свойствами бетона: ввод ГДШ негативно влияет на раннюю прочность – ввод известняка (в определенном количестве) позитивно; ввод известняка негативно влияет на позднюю прочность (в возрасте

28 дней и более) – ввод шлака позитивно; ввод ГДШ негативно влияет на удобоукладываемость бетонных смесей – ввод известняка (в определенном количестве) позитивно.



**Рисунок 2 - Строительство аэропорта «Жуляны» с использованием сборных железобетонных конструкций производства ПСГ «Ковальская»**

**Таблица 1 - Ориентировочное влияние минеральных добавок на свойства бетона и бетонных смесей**

Минеральная добавка	«Достоинства»	«Недостатки»
ГДШ	Умеренное тепловыделение, сульфатостойкость, стойкость к проникновению хлоридов, долговечность, набор прочности в поздние сроки (более 1 месяца)	Снижение скорости набора прочности, снижение удобоукладываемости, в некоторых случаях снижение морозостойкости
Пуццоланы природные	Сульфатостойкость, умеренное тепловыделение, уменьшение водоотделения бетонных смесей	Увеличение водопотребности бетонных смесей, снижение морозостойкости, снижение скорости набора прочности
Техногенные пуццоланы	Уменьшение водопотребности, умеренное тепловыделение, улучшение удобоукладываемости, уменьшение водоотделения бетонных смесей	Снижение скорости набора прочности, снижение морозостойкости
Известняк	Улучшение удобоукладываемости, увеличение ранней прочности, повышение морозостойкости	Снижение поздней прочности, необходимость использования цементов с повышенным $C_3A$ при использовании в больших количествах (например, более 10 % от цемента)

На предприятиях ПСГ «Ковальская» для производства ряда бетонных смесей используется зола-уноса. Применение золы-уноса позволяет добиться улучшенных поверхностей бетонных изделий по сравнению с системами без золы-уноса. Также предприятия ПСГ «Ковальская» имеют опыт по использованию метакрилатов для производства бетонных смесей. Ведутся работы по эффективному использованию других минеральных добавок.

Современные технологии бетона предполагают использование высококачественных цементов. При этом под определением «высококачественный» предполагают наряду с приемлемыми прочностными показателями, водопотребностью, водоотделением стабильность данных показателей, а также стабильность минералогического состава. Использование современных суперпластификаторов предполагает оптимальный подбор компонентов добавки и ее дозировки в зависимости от содержания трехкальциевого алюмината ( $C_3A$ ), трехкальциевого силиката

(C<sub>3</sub>S), SO<sub>3</sub> в цементе [9]. Получение тонкомолотых цементов со стабильным минералогическим составом возможно на современных автоматизированных цементных заводах, где особое внимание уделено работе с сырьевыми материалами, гомогенизации сырьевой смеси. Следует отметить, что предприятия ПСГ «Ковальская» используют высококачественный цемент новой линии ОАО «Подольский цемент», работающей по «сухому способу».

Таким образом, тщательный подбор оптимальной смеси заполнителей, эффективное использование современных суперпластификаторов, использование минеральных добавок, приготовление бетонных смесей на автоматизированных БСУ ведущих мировых производителей («Elba», «Simem»), использование высококачественного цемента позволяет предприятиям ПСГ «Ковальская» добиваться высокого уровня качества производимых строительных материалов, практически реализовывать последние достижения бетоноведения и постоянно расширять ассортимент продукции.

Все эти достижения не были бы внедрены без участия специалистов ПСГ «Ковальская» в отечественных и международных конференциях, выставках и симпозиумах, изучения передового опыта на ведущих предприятиях Европы, привлечения для работы на заводы компании молодых специалистов ведущих учебных заведений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: Издательство АСВ. 2011. 524 с.
2. Троян В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Ніжин: Видавництво «Аспект-Поліграф». 2010. 225 с.
3. Чумаков Л.Д. Технология заполнителей бетона. Москва: Издательство АСВ. 2011. 260 с.
4. Felekoğlu B., Sarıkahya H. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete // Construction and building materials. – 2008. Vol. 22, Issue 9. - p. 1972-1980.
5. Chong-Zhi Li, Nai-Qian Feng, Yong-De Li, Rong-Jun Chen. Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers // Cement and Concrete Research. - 2005, Vol. 35, Issue 5. - p. 867-873.
6. Lange A., Plank J., Study on the foaming behaviour of allyl ether-based polycarboxylate superplasticizers // Cement and Concrete Research. - 2012, Vol. 42, Issue 2. - p. 484-489.
7. Plank J., Sachsenhauser B. Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution // Cement and Concrete Research. - 2009, Vol. 39, Issue 1. - p. 1-5.
8. Yamada K., Takahashi T., Hanehara Sh., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer // Cement and Concrete Research. - 2000, Vol. 30, Issue 2. - p. 197-207.
9. Plank J., Zhimin D., Keller H., Hössle F., Seidl W. Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C<sub>3</sub>A hydrate phases and the role of sulfate present in cement // Cement and Concrete Research. - 2010, Vol. 40, Issue 1. - p. 45-57.
10. Fan W., Stoffelbach F., Rieger J., Regnaud L., Vichot A., Bresson B., Lequeux N. A new class of organosilane-modified polycarboxylate superplasticizers with low sulfate sensitivity // Cement and Concrete Research. - 2012, Vol. 42, Issue 1. - p. 166-172.
11. Розенберг Б.А., Комаров Б.А., Бойко Г.Н., Джавадян Э.А., Гурьева Л.Л., Перехрест А.И., Эстрина Г.А.. Превращения акрилатов под действием активных центров полимеризации α-окисей, инициируемой третичными аминами // Высокомолекулярные соединения. - 2001, Т. 43, №8. с. 1299-1308.
12. Берлин А. А., Королев Г.В., Кефели Т.Я., Сивергин Ю.М. Акриловые олигомеры и материалы на их основе. – М.: Химия. 1983. 232 с.
13. Тайхман Т. «Хай-тек» материалы на цементной основе» // СРІ. Международное бетонное производство. 2011, №6. с. 46-50.
14. Граубнер К.-А., Гаррехт Х., Прошке Т., Хайнер Ш., Морси М., Шпитцбарт Р. Практическая разработка смесей, свойства бетона и оценка экологичности // СРІ. Международное бетонное производство. 2011, №6. с. 22-29.
15. Савицький М.А., Соболь Х.С., Марків Т.Є. Модифіковані композиційні цементи. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2010. 132 с.