

## ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

**Крылов Е.А.,  
Мартынов В.И.,** к.т.н., доцент  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
krylove@ukr.net

**Аннотация.** Проанализирован выбор переменных факторов, и их сочетание, для проведения трехфакторного эксперимента, а также изучения их влияния на изменение основных реологических и физико-механических свойств затвердевшей растворной составляющей и газобетона неавтоклавнового твердения. Правильный выбор и сочетание факторов позволяет сформировать структуру цементного камня, обеспечивающую высокую раннюю прочность газобетона. Рассмотрен производственный технологический процесс приготовления неавтоклавнового ячеистого бетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** активация, наполнитель, структура, свойства.

## ЗАСТОСУВАННЯ ВТОРИННИХ ПРОДУКТІВ У ВИРОБНИЦТВІ ГАЗОБЕТОНУ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДІННЯ

**Крылов Є.О.,  
Мартинів В.І.,** к.т.н., доцент  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
krylove@ukr.net

**Анотація.** Проаналізований вибір змінних факторів, та їх співвідношення, для проведення трьохфакторного експерименту, а також вивчення їх впливу на зміни основних реологічних та фізико-механічних властивостей твердої розчинної складової та газобетону неавтоклавнового тверднення. Правильний вибір та співвідношення факторів дозволяє сформулювати структуру цементного каменю, що забезпечує високу ранню міцність газобетону. Приведений виробничий технологічний процес приготування неавтоклавнового ніздрюватого бетону густиною 500 кг/м<sup>3</sup>.

**Ключові слова:** активація, наповнювач, структура, властивості.

## THE USE OF RECYCLED PRODUCTS IN THE PRODUCTION OF AERATED CONCRETE NON-AUTOCLAVE CURING

**Krylov I.,  
Martynov V.,** PhD, Assistant Professor  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
krylove@ukr.net

**Abstract.** Analyzed the choice of variables, and their combination, for three-factor experiment, and explore their influence on the change of the main rheological and physico-mechanical properties of the hardened mortar component and aerated concrete non-autoclave curing. The right choice and combination of factors allows to form the structure of cement stone, provides high early strength of concrete.

The introduction of active mineral fillers in concrete mixture together with a plasticizer

additive to compensate for the increase in their water demand and significantly increase strength, improve range of building and technical properties of cellular concrete. Calcareous-carbonate additive may not only increase the bond strength of cellular concrete, but also accelerate its growth in time, due to the influence of complex additives on the processes of hydration and structure formation of cement stone in concrete.

The production technological process of preparing non-autoclaved aerated concrete density is 500 kg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** activation, filler, structure, properties.

**Вступлення.** Достоинством ячеистого бетона является то, что он позволяет изготовить стеновые конструкции, которые одновременно соответствуют требованиям по несущей способности, теплозащите, шумозащите, а также по противопожарной защите. Сочетание низкой средней плотности и высокой прочности отличительная характеристика этого бетона. Это дает ему существенные преимущества при применении. В стеновых конструкциях из ячеистого бетона нет необходимости использовать дополнительные строительные материалы, которые необходимы для обеспечения тепло-, звуко- и противопожарной защиты, что является эффективным как с экономической точки зрения, так и для надежного, исключая ошибки производства строительных работ. Комплекс положительных свойств делает ячеистый бетон технически и экономически предпочтительным строительным материалом в жилищном строительстве.

**Цель исследования.** Повышение физико-механических свойств и снижение себестоимости неавтоклавного конструкционно-теплоизоляционного газобетона плотностью 500кг/м<sup>3</sup> за счет применения в составе комплексного активированного вяжущего и молотого доменного шлака.

**Материалы, применяемые при исследовании.**

Вяжущее гидравлическое – портландцемент ПЦ I-500-Д0 по ДСТУ БВ.2.7-46 ПАО «Волынь-цемент» (г. Здолбунув).

Низкоактивное вяжущее – гранулированный доменный шлак ГДШ второго сорта, ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского» (г. Днепропетровск) по ТУ У В.2.7-27.1-05393043-113:2010; Молотый до удельной поверхности 1490см<sup>2</sup>/г по прибору Р.Л. Блейна.

Дисперсный наполнитель – зола сухого удаления Ладыжинской ТЭС. Истинная плотность – 2320г/см<sup>3</sup>. Удельная поверхность кислой активной минеральной добавки 2700см<sup>2</sup>/г по ДСТУ БВ.2.7-188.

Известково-карбонатная добавка.

Пластифицирующая добавка – суперпластификатор СП-1.

Ускоритель твердения – хлористый кальций гранулированный. Хим. формула – CaCl<sub>2</sub>.

**Основной материал.** На начальной стадии формирования стойкой пористой структуры необходимо обеспечить синхронное протекание процессов газообразования и набора структурной прочности. Для выполнения первого условия необходимо, чтобы реакция газообразования проходила максимально эффективно, что обеспечивается определенной щелочностью среды и реологическими характеристиками растворной смеси. Для реализации указанных условий отобраны факторы, влияющие на следующие показатели:

- газообразование – щелочная и пластифицирующая добавка;
- структурная прочность – гипс полуводный и ускоритель твердения;
- физико-механические характеристики – зола-унос, пластифицирующая добавка;
- реологические характеристики смеси – пластифицирующая добавка.

При определении состава ячеистого бетона необходимо обеспечить заданную плотность и его наибольшую прочность при минимальных расходах газообразователя и вяжущего вещества. Плотность ячеистого бетона и его пористость зависят главным образом от расхода газообразователя и степени использования его газообразующей способности. Некоторое влияние на них оказывают температура смеси и количество воды, принятое для

затворения смеси, т.е. водотвердое отношение (отношение объема воды к массе вяжущего вещества и кремнеземистой добавки – золы-уноса). Увеличение В/Т повышает текучесть смеси, а следовательно, улучшает условия образования пористой структуры, если обеспечивается достаточная пластичная прочность смеси к концу процесса газообразования.

Для активного управления структурой и свойствами ячеистобетонной смеси и ячеистого бетона, наряду с химическими добавками используют минеральные добавки (МД). Минеральные добавки отличаются от химических модификаторов тем, что они не растворяются в воде, являясь по существу тонкой составляющей твердой фазы бетона. Располагаясь вместе с цементом в пустотах наполнителя, они уплотняют структуру бетона, в ряде случаев позволяют уменьшить расход цемента. Поэтому минеральные добавки часто называют минеральными наполнителями. Если оценить минеральные добавки по их влиянию на структуру и свойства цемента и бетона, то в зависимости от дисперсности их можно разделить на МД-разбавители цемента и МД-уплотнители. МД-разбавители (зола сухого удаления) имеют гранулометрический состав, близкий к цементу.

В растворных смесях зола-унос обычно выполняет роль не только активной минеральной добавки, увеличивая общее количество вяжущего вещества, но и микронаполнителя, что улучшает гранулометрию композиции и активно влияет на процессы структурообразования.

Использование золы сухого удаления в составе материалов основывается на ее полифункциональности [1, 2], которая обусловлена возможностью выполнять функцию, с одной стороны, компонента вяжущего вещества за счет осуществления пуццолановой реакции (при получении цементов с активными минеральными добавками). С другой – наполнителя с выполнением функции не только инертной добавки, которая заполняет поры и пустоты искусственного камня, но и способствует формированию контактной зоны на границе «цементное тесто – наполнитель». Также она принимает участие в синтезе высокодисперсных новообразований, в частности, в виде низкоосновных гидросиликатов, что положительно сказывается на формировании всех уровней структуры бетона [3].

Из литературного источника [4, стр. 281] известно, что отрицательное влияние на прочность и плотность бетона оказывает наличие больших пор в гидратированном цементном тесте и микротрещин в зоне контакта цементного теста с наполнителем. Повышение прочности и долговечности ячеистого бетона, связанное с использованием минеральных добавок, обусловлено, вероятно, превращением больших пор в мелкие и уменьшением микротрещин в зоне контактов. При этом структура ячеистого бетона должна характеризоваться равномерно распределенными мелкими порами правильной шаровидной формы.

Наличие в бетонной смеси золы, в отличие от других активных минеральных добавок, улучшает её удобоукладываемость за счет остеклованной поверхности слагаемых её частиц, которые уменьшают внутреннее трение в бетонной смеси и снижают вязкость. Шарообразные частицы золы могут рассматриваться как твердые «шарикоподшипники» в смеси, аналогично тому, как пузырьки эмульгированного воздуха при использовании воздухововлекающих добавок оказывают пластифицирующее действие на бетонную смесь, являясь своеобразными воздушными «шарикоподшипниками». На пластифицирующий эффект золы-унос влияет форма, состояние поверхности частиц, их дисперсность. Поэтому водопотребность при использовании зол повышенной дисперсности существенно снижается [5, стр. 18].

Фундаментальным положением бетоноведения является зависимость технических свойств бетона и его структуры. Последняя в свою очередь в значительной степени обусловлена объёмной концентрацией цементного камня и его качественными показателями, в первую очередь плотностью и клеящей способностью. Свойства бетона являются производными от его состава, химических связей и структуры и они взаимосвязаны и находятся в равновесии.

Известные формулы прочности бетона, установленные Фере, Абрамсом, Беляевым,

Скрамтаевым и другими исследователями [6], предполагают, что расход цемента должен обеспечивать заполнение пустот между зёрнами наполнителя и образование клеевой прослойки необходимой толщины [5, стр.65].

Целесообразность введения активных наполнителей в цементы и бетонные смеси, в том числе, карбонатного – основана на известных теоретических представлениях В.Н.Юнга о цементном камне, как о «микробетоне». Механизм влияния карбонатного наполнителя на структурообразование и их строительные–технические свойства обусловлен как химическими, так и физико–химическими процессами.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований, учитывающих выше приведенные сведения, позволил выявить влияние рецептурно-технологических факторов на свойства неавтоклавногазобетона [7]. При этом получен газобетон со следующими свойствами: марка по средней плотности D500; класс (марка) по прочности на сжатие – В2 (М25); марка по морозостойкости – F50; теплопроводность в сухом состоянии не больше 0,13Вт/(м·°С); пористость не менее 73%. Эти сведения учтены в производстве газобетона на Комплексе по производству новых строительных материалов в с. Красное Первое, Обуховского района, Киевской области.

Доставка сырьевых материалов и химических добавок на предприятие осуществляется автотранспортом. Минеральное сырье (цемент, зола, шлак) подаётся в силосные бункера объёмом 75м<sup>3</sup> с помощью компрессорной станции, а далее в приемные силоса меньшей емкости, находящихся в бетоносмесительном узле (БСУ).

Химические и известково-карбонатная добавки хранятся на складе химических добавок в герметичной таре. Перед подачей в виброгазобетонмешалку добавки взвешиваются на весах находящихся в складе химдобавок и подаются тельфером в дозаторное отделение, где предварительно в баках (рис.1) приготавливаются водные растворы (суперпластификатор, ускоритель твердения, щелочная добавка) определенной плотности. Потом доведенные до плотности растворы химических добавок подаются насосами в приёмные баки находящихся на этаж выше дозаторного отделения и попадают самотёком через дозаторы (рис.2) в виброгазобетонмешалку. Взвешивание вяжущего, золы и шлака происходит в автоматическом режиме с помощью весовых дозаторов.

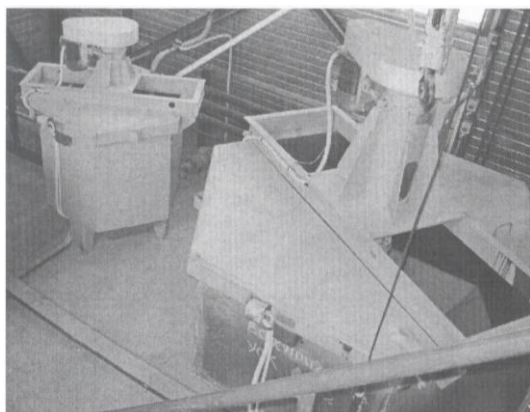


Рис.1. Баки для приготовления химических добавок

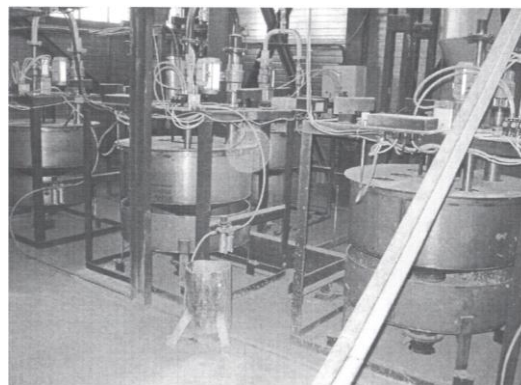


Рис.2. Дозаторы для взвешивания химических добавок

Дозаторы цемента, золы, шлака, химических добавок и воды управляются автоматическим пультом управления (рис.3) находящимся в кабине оператора БСУ. Подогрев воды в ёмкости осуществляется в БСУ при помощи электрических тендов.

Взвешенные компоненты подаются в виброгазобетонмешалку (рис.4) находящуюся на посту приготовления растворной ячеистой смеси. После приготовления готовая смесь в мешалке перемещается по рельсовым путям на пост разлива в металлические формы. В металоформах смесь вспучивается при взаимодействии щелочной добавки и алюминиевой суспензии за счет выделения водорода. По окончанию подъёма ячеистобетонной смеси

формы выдерживаются на постах, до распалубочной прочности, после чего готовые массивы подаются на пост калибровки и продольной (поперечной) резки на готовые изделия. По окончании порезки массивы с поддонами подаются в ямные камеры тепловой обработки, где подвергаются тепловому режиму по разработанному технологическому регламенту предприятия.

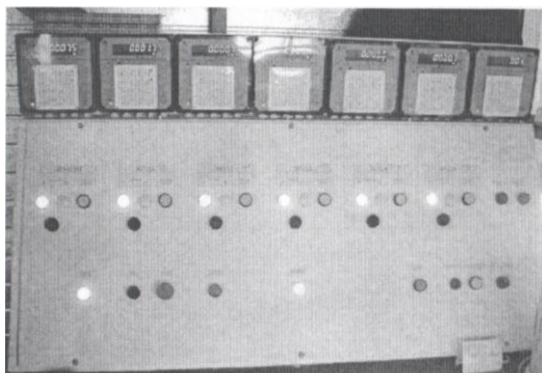


Рис.3. Автоматический пульт управления в кабине БСУ

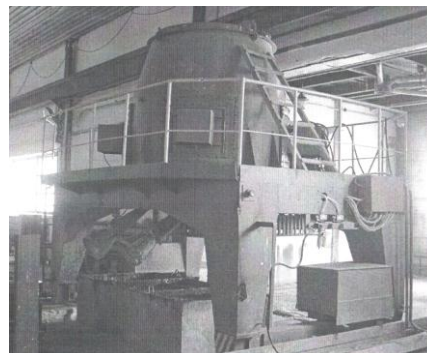


Рис.4. Виброгазобетономешалка по приготовлению растворной смеси

**Выводы:** Введение активных минеральных наполнителей в бетонную смесь совместно с пластифицирующей добавкой позволяет компенсировать увеличение её водопотребности и существенно повысить прочность, улучшить ряд строительно-технических свойств ячеистых бетонов. Также известково-карбонатная добавка может не только увеличивать значения прочности ячеистого бетона, но и ускорять её рост во времени, что объясняется комплексным влиянием добавки на процессы гидратации и структурообразования цементного камня в бетоне.

### Литература

1. Штарк Й. Цемент и известь / Й. Штарк, Б. Вихт // Под ред. Кривенко П.В.; пер. с нем. Тулаганова А. – Киев, 2008. – 480с.
2. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности / А.М. Сергеев // – К.: Будивельник, 1984. – 120с.
3. Кривенко П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева, В.И. Гоц, Г.Ю. Ковальчук // Монография. – Киев: издательство ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258с.
4. Рамачандран В.С. Добавки в бетон: Справ. Пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. // Под ред. В.С. Рамачандрана; Пер с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; Под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575с.
5. Дворкин Л.И. Корнейчук Ю.А. Эффективные цементно-золевые бетоны / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Ровно, 1998 – 195с.
6. Дворкин Л.И. Оптимальное проектирование составов бетона / Л.И. Дворкин // – Львов.: Вища школа, 1981 – 160с.
7. Крылов Е.А. Комплексное активированное вяжущее для неавтоклавного ячеистого бетона с применением молотого доменного шлака и известково-карбонатной добавки / Е.А. Крылов, В.И. Мартынов, А.М. Ветох // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Выпуск 60. Одесса: Оптимум, 2015. – С. 166–172.