



**Барановская Е.И.**  
к.т.н., доцент, доцент  
кафедры химической  
технологии вяжущих  
материалов БГТУ  
(Минск, Беларусь)



**Мечай А.А.**  
к.т.н., доцент, заведующий  
кафедрой химической технологии  
вяжущих материалов БГТУ  
(Минск, Беларусь)



**Колпащиков В.Л.**  
к.ф.-м.н., вед. науч. сотр.  
Институт тепло- и массообмена  
им. А.В. Лыкова  
(Минск, Беларусь)



**Жизневская Т.В.**  
выпускница кафедры химической  
технологии вяжущих материалов БГТУ  
(Минск, Беларусь)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ИЗ ФОСФОГИПСА В ТЕХНОЛОГИИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

Годовое потребление природного гипса предприятиями Республики Беларусь составляет около 50 тыс. т. В связи сокращением вариантов поставки только

из одной страны актуальным направлением является разработка вариантов импортозамещения. В рамках выполнения хозяйственного договора между Учре-

ждением образования «Белорусский государственный технологический университет», Республиканским производственно-торговым унитарным предприятием «Управляющая компания холдинга «Белорусская цементная компания» и ОАО «Гомельский химический завод» получены образцы искусственного гипсового камня для производства цемента на основе фосфогипса с использованием различных нейтрализующих компонентов. Был осуществлен выпуск опытной партии гипсового камня объемом 200 тонн (рис. 1) и проведены его испытания в условиях цементных заводов и в научной лаборатории Белорусского государственного технологического университета.



**Рисунок 1 – Образцы искусственного гипсового камня из опытной партии**

Особенности способа получения искусственного гипсового камня из фосфогипса и применяемое сырье для нейтрализации примесей в его составе позволили получить продукт, содержащий не менее 70 мас.%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а также другие соединения, которые в рассматриваемой системе будут оказывать влияние на формирование структуры бетона с момента начала созревания массива и на стадии гидротермальной обработки в автоклаве.

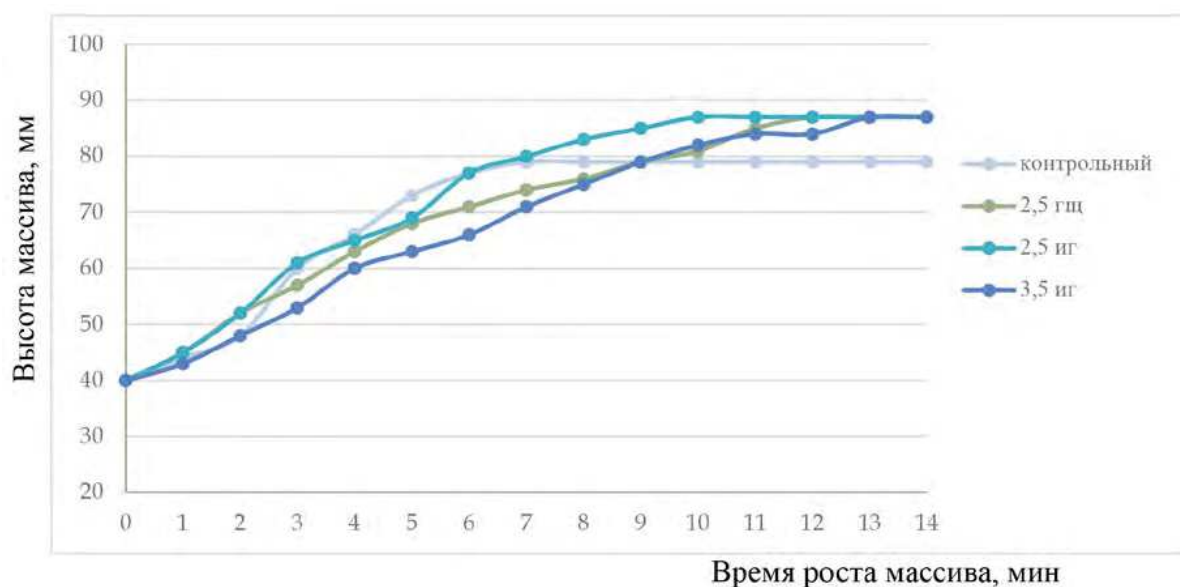
В связи с актуальностью развития литейной технологии получения ячеистого бетона [1–3], требующей обязательного применения регулятора структурообразования, в качестве которого, как правило, используется природный гипс, научный интерес представляет изучение влияния полученного искусственного гипсового камня на реологические свойства ячеистобетонных смесей и физико-механические свойства бетона.

Содержание добавки в ячеистобетонных смесях составляло 1,0–3,5 мас.%. В качестве контрольных образцов были выбраны составы без использования регулятора структурообразования и с использованием природного гипса с соответствующей дозировкой. Добавки вводили на стадии помола песчаного шлама. Результаты исследования реологических свойств ячеистобетонных смесей приведены в табл. 1 и на рис. 2.

**Таблица 1**

**Реологические свойства ячеистобетонных смесей**

| Дозировка добавки, мас. %           | Водотвердое отношение смеси (В/Т) | Растекаемость по Суттарду, см |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 0 (контр.)                          | 0,56                              | 34,0                          |
| 2,5 (гипсовый щебень)               |                                   | 33,0                          |
| 2,5 (искусственный гипсовый камень) |                                   | 34,5                          |
| 3,5 (искусственный гипсовый камень) |                                   | 34,5                          |



**Рисунок 2 – Характеристика интенсивности вспучивания массива**

Установлено, что добавка искусственного гипсового камня существенного влияния на растекаемость не оказывала, в связи с чем корректировка по водотвердому отношению смеси (В/Т) не проводилась. Для исследуемых смесей его значение составляло 0,56. Как видно из представленных зависимостей, введение добавок в состав бетона не сказывается отрицательно на процессе вспучивания массива и не приводит к замедлению темпа набора пластической прочности. Однако видно, что характер вспучивания изменяется по сравнению с контрольными составами.

Введение гипсосодержащих добавок в состав газобетона приводит к формированию в его структуре на стадии созревания массива высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция (этtringита) и моносульфоалюмината, которые разлагаются при гидротермальной обработке в автоклаве. Образование вторичного этtringита возможно на стадии остывания массива [3–5]. Роль этtringита в такой системе неоднозначна и зависит от множества факторов. Учитывая, что ячеистобетонная смесь является многокомпонентной и на формирование структуры на каждой стадии технологического процесса влияет ряд параметров, трудно однозначно определить, какую роль он будет играть и не приведет ли к деструктивным изменениям в материале. В связи с этим одной из важнейших задач

является определение оптимальной дозировки искусственного гипсового камня в ячеистобетонных смесях. На начальной стадии выполнения эксперимента с учетом производственного опыта предприятий, работающих по литьевой технологии, нами были выбраны достаточно высокие дозировки добавок (до 6,0 мас.%). Результаты испытаний показали, что оптимальными с точки зрения влияния на реологические свойства смесей и физико-механические характеристики бетона являются дозировки 2,5–3,5 мас.%.

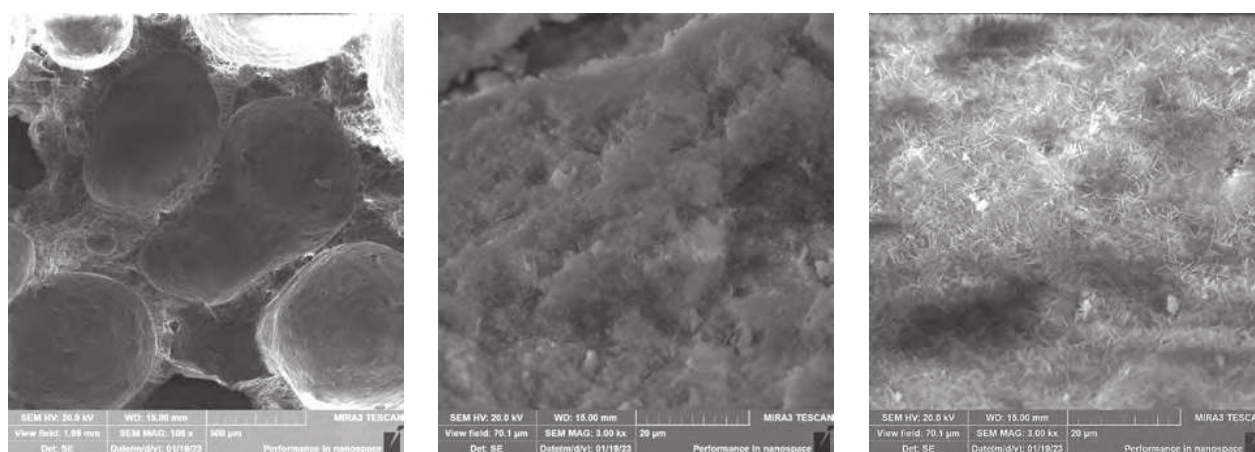
В табл. 2 приведены результаты определения основных физико-механических свойств бетона. Анализ полученных данных показывает, что максимальной прочностью характеризуется состав с добавкой 3,5 мас.% искусственного гипсового камня. Указанный образец был выбран в качестве оптимального для проведения дальнейших исследований.

Уровень физико-механических свойств неизбежно связан со структурой бетона, в том числе с характером пористости и параметрами межпоровой перегородки. Анализ электронно-микроскопических снимков структуры ячеистого бетона показывает, что на характер пористости и степень закристаллизованности межпоровой перегородки и поверхности пор существенно влияет не только состав добавки, но и в значительной степени её дозировка. На рис. 3 пред-

Таблица 2

**Основные физико-механические свойства ячеистого бетона**

| Дозировка добавки, мас. %           | Средняя плотность в высушенном состоянии, кг/м <sup>3</sup> | Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа | Коэффициент конструктивного качества |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| 0 (контрольный состав)              | 545,4   | 3,2  | 107,6                                |
| 2,5 (гипсовый щебень)               | 548,7   | 4,38   | 145,7                                |
| 2,5 (искусственный гипсовый камень) | 563,3   | 4,50   | 141,8                                |
| 3,5 (искусственный гипсовый камень) | 550,6   | 4,58   | 151,1                                |



**Рисунок 3 – Структура образца ячеистого бетона с дозировкой добавки искусственного гипсового камня 3,5 мас. %**

ставлены результаты исследования макро- и микроструктуры ячеистого бетона с максимальными прочностными характеристиками. Установлено, что повышение прочности обусловлено увеличением степени закристаллизованности межпоровой перегородки, а также равномерным распределением пор в структуре бетона.

Полученные результаты согласуются с данными рентгенофазового и дифференциально-термического анализов, из которых видно, что образец с содержанием 3,5 мас.% искусственного гипсового камня обладает более высокими прочностными свойствами за счёт образования в своей структуре дополнительного количества низкоосновных гидросиликатов кальция, в частности тоберморита, и гидросульфалюминатов кальция (этtringита), обеспечивающих армирование твердеющей системы.

Таким образом, проведенные испытания подтверждают возможность и целесообразность использования искусственного гипсового камня, полученного на основе фосфогипса, в технологии автоклавного ячеистого бетона в качестве регулятора структурообразования. Полученные данные будут использова-

ны при выпуске опытно-промышленных партий бетона на действующих предприятиях отрасли.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Вишневецкий, А.А. Ударная или литевая / А.А. Вишневецкий // Технологии бетонов. – 2016. – № 9–10. – С. 31–34.
2. Крутилин, А.Б. Теплофизические характеристики автоклавных ячеистых бетонов низких плотностей и их влияние на долговечность наружных стен зданий / А.Б. Крутилин, Ю.А. Рыхленок, В.В. Лешкевич // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 2 – С. 46–55.
3. Вишневецкий, А.А. Анализ рынка АГБ-2014 / А.А. Вишневецкий, Г.И. Гринфельд, А.С. Смирнова // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 52–54.
4. Штарк, Й. Является ли этtringит причиной разрушения бетона? / Й. Штарк, К. Больманн, К. Зайфарт // Цемент и его применение. – 1998. – № 2. – С. 13–22.
5. Рудченко, Д.Г. О роли гипсового камня в формировании фазового состава новообразований автоклавного ячеистого бетона / Д. Г. Рудченко // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – Наук. техн. збірник. – 2012. – № 43. – С. 47–54.