

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА**

**В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.С. Хмелев, Д.В. Генне, Ю.М. Кузовников,  
А.В. Пономарев**

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Бийск  
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск*

В статье представлены результаты практического исследования влияния обработки высокоинтенсивными ультразвуковыми колебаниями газобетона в процессе его получения на прочностные характеристики и скорость затвердевания.

*Ключевые слова: ультразвук, газобетон.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В инженерном деле и в строительстве немаловажным фактором выбора того или иного материала является прежде всего его прочность и вместе с тем малый удельный вес, способность сохранять свои свойства в течение продолжительного времени.

Достаточно простые, повсеместно применяемые технология и рецептура газобетона в то же время сохраняют широкий простор для ученых и рационализаторов, внедряющих новые технологические и методические решения.

Важнейшую роль в смесеобразовании играет размер частиц исходных компонентов, их дисперсность. Задача ученых и исследователей, занимающихся смесительной аппаратурой спроектировать оборудование, как можно приближеннее к модели аппарата идеального смешения. Поэтому важно разрабатывать и внедрять технологии и средства, интенсифицирующие процесс смесеобразования.

Задачей исследования является практическое изучение влияния высокоинтенсивного ультразвукового воздействия на прочностные свойства газобетона и процесс его получения в целом.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Как было отмечено, благоприятное действие ультразвуковой обработки водо-цементного раствора достаточно хорошо изучено и отмечается многими авторами [1-3]. Такая обработка позволяет повысить прочность изделий и осуществить экономию цемента до 20%. Поэтому такие исследования не запланированы в данной работе.

С целью исследования характера влияния размера и дисперсности частиц исходных компонентов для получения газобетона были предприняты эксперименты по высокоинтенсивной обработке акустиче-

скими колебаниями ультразвуковой частоты золы уноса и алюминиевой пудры.

Было запланировано проведение следующих экспериментов:

1) изготовить для целей контроля образцы газобетона по известной технологии, применяемой на производстве;

2) произвести высокоинтенсивную обработку акустическими колебаниями ультразвуковой частоты золы, входящей в состав газобетонной смеси и изготовить газобетон с применением модифицированной золы;

3) осуществить ультразвуковую обработку алюминиевой пудры, входящей в состав газобетона и изготовить газобетон с использованием модифицированной пудры;

4) произвести ультразвуковую обработку золы уноса и алюминиевой пудры и изготовить газобетон с использованием модифицированных компонентов;

5) осуществить обработку смеси немодифицированных компонентов высокоинтенсивными колебаниями ультразвуковой частоты в процессе приготовления газобетона;

6) произвести ультразвуковую обработку золы уноса, входящей в состав газобетонной смеси, а также ультразвуковую обработку смеси в процессе приготовления газобетона;

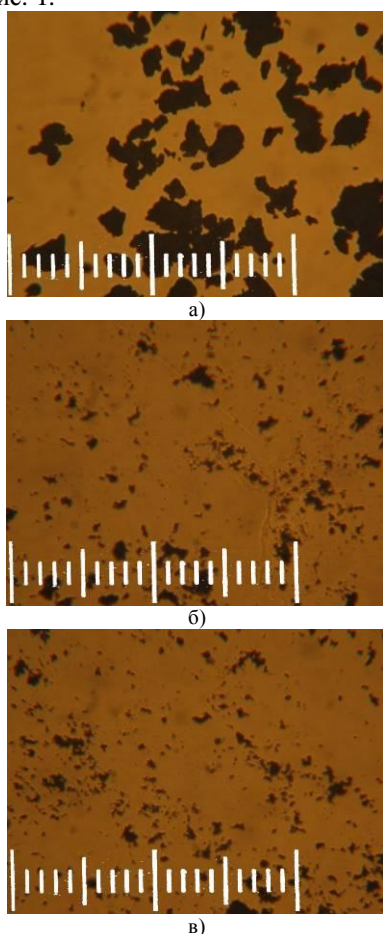
7) осуществить высокоинтенсивную обработку акустическими колебаниями ультразвуковой частоты алюминиевой пудры и смеси всех компонентов в процессе приготовления газобетона;

8) произвести ультразвуковую обработку газобетонной смеси состоящей из предварительно модифицированных золы уноса и алюминиевой пудры с использованием высокоинтенсивных колебаний ультразвуковой частоты.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для эксперимента по ультразвуковой обработке алюминиевой пудры приготавливалась суспензия (0,1 л), состоящая из 200 частей воды, 147 частей алюминиевой пудры и 10 частей сульфанола, согласно известной технологии. Далее осуществлялась обработка суспензии ультразвуковым аппаратом серии «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ. Озвучивание производилось в течение 2-х часов. При этом осуществлялись охлаждение суспензии через стенку обрабатываемого объема и отбор образцов каждый час.

Фотографии частиц полученной суспензии приведены на рис. 1.



а) до обработки, б) 1 час обработки, в) 2 часа обработки

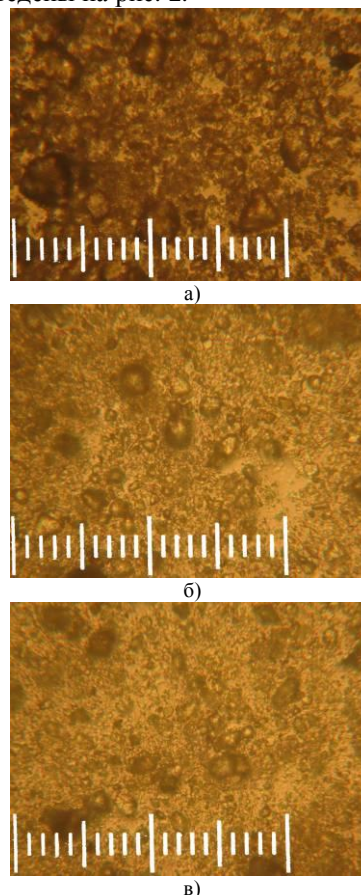
**Рис. 1.** Фотографии частиц алюминиевой пудры для различного времени обработки (увеличение 400 раз, цена деления шкалы 10 мкм)

Анализируя полученные фотографии можно сделать вывод о существенном измельчении частиц алюминиевой пудры при высокоинтенсивной ультразвуковой обработке. Размер частиц исходной суспензии порядка 10-20 мкм, а после 1 часа озвучивания размер частиц составляет 5-10 мкм. Еще через час воздействия, судя по фотографиям, размер всех частиц становится порядка 2-5 мкм.

Также был выполнен эксперимент по высокоинтенсивной ультразвуковой обработке золы уноса с целью уменьшения размера частиц. Для опыта была получена суспензия, состоящая из 100 частей воды и 131 части золы из соображения ее дальнейшего использования для приготовления смеси газобетона по известной технологии.

Обработка суспензии осуществлялась с помощью ультразвукового технологического аппарата серии «Волна-М» модель УЗТА-1/22-ОМ. При обработке осуществлялось охлаждение суспензии через стенку обрабатываемого объема и отбор проб каждые 30 минут.

Фотографии частиц полученной суспензии золы уноса приведены на рис. 2.



а) до обработки, б) 30 минут обработки, в) 1 час обработки

**Рис. 2.** Фотографии частиц золы уноса для различного времени обработки (увеличение 400 раз, цена деления шкалы 10 мкм)

Изучение полученных результатов позволяет говорить о заметном уменьшении размеров крупных частиц начальной суспензии (начальное 40 мкм) и об увеличении числа частиц с размерами менее 5 мкм. Дальнейшая обработка суспензии была признана нецелесообразной из-за существенного роста вязкости ввиду увеличения степени дисперсности частиц.

Итак, в результате проведенных исследований по диспергированию компонентов исходного сырья бы-

ли получены положительные результаты по измельчению частиц исходных компонентов. Дальнейшие исследования были направлены на изучение свойств газобетона, полученного на базе модифицированных компонентов.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ГАЗОБЕТОНА

С целью оценки характера влияния ультразвукового воздействия на параметры получаемого газобетона вследствие обработки исходных компонентов и их смеси были приготовлены следующие серии образцов газобетона:

- 1) без измельчения исходных компонентов и без ультразвуковой обработки смеси (контроль);
- 2) без измельчения исходных компонентов с ультразвуковой обработкой смеси;
- 3) с ультразвуковым измельчением золы уноса и без ультразвуковой обработки смеси;
- 4) с ультразвуковым измельчением золы уноса с ультразвуковой обработкой смеси;
- 5) с ультразвуковым измельчением алюминиевой пудры и без ультразвуковой обработки смеси;
- 6) с ультразвуковым измельчением алюминиевой пудры с ультразвуковой обработкой смеси;
- 7) с ультразвуковым измельчением золы уноса, алюминиевой пудры и без ультразвуковой обработки смеси;
- 8) с ультразвуковым измельчением золы уноса, алюминиевой пудры с ультразвуковой обработкой смеси.

В процессе предварительного измерения растекаемости по Суттарду объем воды в смеси был увеличен на 16%.

Методика изготовления образцов заключалась в следующем.

Первоначально готовился исходный раствор для получения объема 3-х литров газобетона в следующем соотношении компонентов:

- 793,2 г цемента;
- 881,4 г золы уноса;
- 783,75 мл воды;
- 30 мл 25% раствора щелочи;
- 13,4 г суспензии алюминиевой пудры.

Затем осуществлялись все запланированные эксперименты по получению экспериментальных образцов с вариациями компонентов, с обработкой ультразвуковым воздействием и без него.

В ходе экспериментов для озвучивания смеси компонентов был использован ультразвуковой аппарат серии «Волна-М» модель УЗТА-1/22-ОМ. При этом наблюдалось существенное ускорение процесса затвердевания, при котором схватывание смеси началось еще на стадии смешивания в миксере.

В целях исключения дестабилизирующих влияний температурных воздействий на получаемые результаты было решено изменить методику и не нагревать воду, используемую для смеси, а применять воду,

охлажденную до температуры 13-15°C (обычная водопроводная вода без нагрева).

В ходе экспериментов с использованием ультразвукового аппарата серии «Волна-М» модель УЗТА-1/22-ОМ опытным путем было выяснено оптимальное время ультразвуковой обработки, равное 1 минуте при 75% уставке мощности (интенсивность излучения около 7 Вт/кв.см). При этом, не происходит чрезмерный нагрев смеси в процессе озвучивания и остается время для перелива смеси в форму до начала газообразования и схватывания.

Отмечено, что после такой ультразвуковой обработки интенсивно происходит газообразование, при котором объем за 1,5 минуты увеличивается в 2-3 раза. После прекращения газообразования через 1-3 минуты происходит схватывание бетона, после чего можно снимать форму и производить его нарезку. Следует отметить, что газообразование в объеме смеси происходит равномерно, а размер полостей существенно не различается. Об этом свидетельствуют фотографии полученных образцов (рис. 3).



Рис. 3. Образец газобетона, полученный по измененной методике в сравнении с исходным

Полученные в ходе экспериментов образцы, выполненные по стандартной технологии и образцы с

модификациями, подвергались в дальнейшем исследованию однородности и прочности на сжатие.

Для косвенного исследования прочности полученных образцов газобетонных блоков по скорости распространения ультразвуковых колебаний был использован ультразвуковой прибор УК-10ПМ. Испытания производились в соответствии с ГОСТ 17624-87. При оценке используется известная связь между скоростью распространения ультразвуковых колебаний и прочностью бетона.

В табл. 1 представлены полученные результаты по скорости распространения ультразвука в материале образцов газобетона, выполненных по различным технологиям получения образцов.

**Табл. 1. Результаты оценки скорости распространения ультразвука в материале образцов газобетона (БИ – без измельчения, ИЗ – измельченная зола, ИП – измельченная пудра, БУЗ – без ультразвукового воздействия, УЗ – с ультразвуковым воздействием)**

Номер эксперимента	Номер образца					Среднее
	1	2	3	4	5	
1 (контроль)	877,2	980,4	917,4	961,5	990,1	945,3
2 (БИ+УЗ)	1136,3	1250	1123,6	1123,6	1123,6	1151,4
3 (ИЗ, БУЗ)	942,5	921,3	940,5	956,8	904,8	933,2
4 (ИЗ+УЗ)	877,2	813	877,2	847,5	970,9	877,2
5 (ИП, БУЗ)	1134	1222,2	1100	1102,2	1066,6	1125
6 (ИП+УЗ)	1130,5	1141,2	1135,7	1138,3	1140,5	1137,2
7(ИЗ,ИП,БУЗ)	978,5	980,2	977,4	982,7	989	981,56
8(ИЗ,ИП+УЗ)	1063,8	1098,9	1136,4	1136,4	1136,4	1114,4

Наблюдается увеличение скорости внутри образцов с измельченной алюминиевой пудрой и образцов с ультразвуковой обработкой смеси. Это позволяет сделать вывод о том, что в данном случае, за счет измельчения пудры и ультразвуковой активации смеси наблюдается более равномерное распределение размеров газовых пор.

Эксперименты по измерению скорости распространения только косвенно могут свидетельствовать о качестве конечного продукта.

Поэтому, далее с использованием установки с пневмоцилиндром были выполнены эксперименты по исследованию предела прочности на сжатие образцов газобетона. Для этого из полученных в ходе экспериментов блоков были вырезаны и отшлифованы кубические образцы газобетона с размером грани равном 60 мм. В ходе испытаний с помощью регулятора увеличивалось давление в пневмоцилиндре, воздействующем на куб до момента разрушения образца. После этого фиксировалось приложенное усилие приведшее к деструкции.

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 2.

**Табл. 2. Результаты испытания предела прочности на сжатие образцов газобетона**

Номер эксперимента	Предел прочности на сжатие, МПа
1(контроль)	0,42
2 (БИ+УЗ)	0,5
3 (ИЗ, БУЗ)	0,44
4 (ИЗ+УЗ)	0,47
5 (ИП, БУЗ)	0,5
6 (ИП+УЗ)	0,61
7(ИЗ,ИП,БУЗ)	0,47
8(ИЗ,ИП+УЗ)	0,65

Также как и в экспериментах с измерением скорости ультразвука, в результатах данных исследований наблюдается небольшое увеличение предела прочности образцов с измельченной алюминиевой пудрой и в случае ультразвуковой обработки. Максимальное значение соответствует случаю ультразвуковой обработки всех компонентов, а затем и их смеси. Все это очевидно также связано с более равномерным распределением газовых пор и однородностью их размеров.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненные исследования продемонстрировали эффективность использования высокоинтенсивного ультразвукового воздействия для целей обработки исходных компонентов и их смеси в процессе получения газобетона.

Установлено, что ультразвуковая обработка позволяет благоприятно повлиять на прочностные свойства ячеистого бетона и увеличить скорость его схватывания до 5 раз.

Ультразвуковое воздействие позволяет отказаться от термостатирования исходных компонентов и избавляет от необходимости использования вибрации и встряхивания газобетона в процессе набора объема и его первоначального схватывания. Получаемые при этом газовые полости достаточно однородны по размеру и равномерно распределены по объему блока.

Все вышесказанное позволяет говорить о целесообразности внедрения ультразвукового воздействия в уже существующие технологические процессы производства и осуществлять разработку более совершенных методик производства газобетона с активным использованием мощного ультразвукового оборудования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вальма Ю., Гумуляускас А. Влияние режима гидротермальной обработки на кинетику физических процессов в силикатном бетоне. – Материалы и тезисы II конференции молодых научных работников Прибалтики и Белоруссии, работающих в области строительных материалов. Таллин, 1968, с. 29–32.
2. Лапса В.Х., Куннос Г.Я. Раннее структурообразование газобетона. – «Бетон и железобетон», 1969, № 4, с. 42–45.
3. Куннос Г.Я., Линденберг Б.Я. Вибрационный способ приготовления газобетонной смеси. Рига, 1962, с. 15.

*Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Цыганок Сергей Николаевич – к.т.н., доцент, начальник лаборатории, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru*

*Хмелев Сергей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432571, e-mail: ssh@bti.secna.ru.*

*Генне Дмитрий Владимирович – ведущий инженер лаборатории кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432571, e-mail: gdv@bti.secna.ru.*

*Кузовников Юрий Михайлович – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ, тел. (3854)432571, e-mail: kuzovnikov@bti.secna.ru.*

*Пономарев Алексей Владимирович – аспирант кафедры физики, Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, тел. 8964-110-12-33, e-mail: alex@alit.su*