



УДК 666.973.6

**Ж.А. АБДЫРАЙМОВ**  
КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,  
E-MAIL: [ABDYJAMAL@MAIL.RU](mailto:ABDYJAMAL@MAIL.RU)  
**ZH.A. ABDYRAIMOV**  
KSUCTA N.A. N. ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC  
E-MAIL: [ABDYJAMAL@MAIL.RU](mailto:ABDYJAMAL@MAIL.RU)

**С.Ж. МЕЛИБАЕВ**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Г. БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: [SADYK\\_JORO@RAMBLED.RU](mailto:SADYK_JORO@RAMBLED.RU)

**С.Ж. MELIBAEV**  
INTERNATIONAL UNIVERSITY OF INNOVATION TECHNOLOGIES  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC  
E-MAIL: [SADYK\\_JORO@RAMBLED.RU](mailto:SADYK_JORO@RAMBLED.RU)  
[E.mail.ksucta@elcat.kg](mailto:E.mail.ksucta@elcat.kg)

## **ВЛИЯНИЕ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА**

### **EFFECT OF PULVERIZED AND CLAY FILLERS ON THE MAIN PROPERTIES OF NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE**

*Макалада, Кыргыз Республикасындагы жергиликтүү сырьелорунун негизинде табигый чаң жана чопо топуракты жана техногендик кремнезем материалдарын автоклавсыз газ бетонуна толтургуч катары колдонуунун жарактуулугун изилдөө жыйынтыгы каралат.*

**Чечүүчү сөздөр:** кремнезем материалдары, автоклавсыз газ-бетон, өндүрүш калдыктары, кум, толтургуч, активдүүлүк, композициялык чапташтыргычтар.

*В данной статье рассматриваются результаты исследования о пригодности использования пылевидных и глинистых природных и техногенных кремнеземистых материалов в качестве наполнителя неавтоклавного газобетона на основе местного сырья Кыргызской Республики*

**Ключевые слова:** кремнеземистые материалы, безавтоклавный газобетон, производственные отходы, песчаник, наполнитель, композиционные вяжущие.

*This article examines the results of a study on the suitability of using pulverized, clay natural, and technogenic siliceous materials as a filler of non-autoclaved aerated concrete based on local raw materials of the Kyrgyz Republic.*

**Key words:** silica materials, nonavtoklaved concrete, industrial waste, sandstone, filler, activity, composite binders.

Современная экономика, включая строительство, характеризуется высоким потреблением энергоресурсов, что требует более экономного их расходования за счет внедрения энергосберегающих технологий. Поэтому одной из отраслевых задач строительного комплекса является внедрение в народное хозяйство новых видов энергосберегающих строительных материалов, наиболее полно удовлетворяющих



требованиям современного строительства. К таким строительным материалам относятся неавтоклавные газобетонные изделия ввиду их экологической безопасности, высокой теплоизоляционной способности и пониженной энергоемкости в сравнении с автоклавными газобетонными изделиями.

Кыргызстан располагает значительными запасами песчаных пород, мелкозернистых песков и техногенных материалов, которые могут найти применение в производстве газобетонных изделий неавтоклавного твердения.

Целью данной работы является использование пылевидных и глинистых природных и техногенных кремнеземистых материалов в качестве наполнителя неавтоклавного газобетона на основе местного сырья Кыргызской Республики.

Для вяжущих материалов были использованы портландцемент М 400 Д 20 ГОСТ 10178 – 85; известь комовая негашеная II сорта: содержание активных СаО и MgO – 82 %, количество не погасившихся частиц – 1,2 %; гипс строительный марки Г-5, ГОСТ 125-79\*\*.

В качестве наполнителя использованы хвосты обогащения сурьмяных руд (далее ХОСР), и тонкозернистый глинистый песок Ошского месторождения.

Химический состав ХОСР представлен содержанием в %: SiO<sub>2</sub> – 70,93; СаО – 12,67; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,73; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,92; MgO – 0,03; SO<sub>3</sub> – 0,82; R<sub>2</sub>O – 0,67; П.П.П. – 7; минералогический состав – содержанием - кварца, кальцита (СаСО<sub>3</sub>) и незначительным количеством глинистых составляющих (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6,92 %).

ХОСР характеризуется легкой размалываемостью, коэффициент размалываемости составляет 1,2 (отношение времени, необходимого для размола кварца, ко времени, необходимому для размола данного материала до той же степени дисперсности).

Химический состав Ошского песка, в %: SiO<sub>2</sub> – 73,74; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 12,52; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,93; СаО – 0,86; MgO – 2,85; SO<sub>3</sub> – 0,40; R<sub>2</sub>O – 4,27; П.П.П. – 4,41. Минералогический состав, в %: SiO<sub>2</sub> – 59,01; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O – 31,67; СаSO<sub>4</sub> – 0,68; СаСО<sub>3</sub> – 1,03; MgCO<sub>3</sub> – 5,98; П.П.П. – 4,41. Гранулометрический состав Ошского песка, мм, %: менее 0,16 – 61,7; 0,16 – 22,4; 0,315 – 5,7; 0,63 – 4,5; 1,25 – 3,2; 2,5 – 2,5; 5,0 – 0; с высоким содержанием глины (31,67 %); M<sub>к</sub> = 0,7, т.е. тонкозернистый. Удельная поверхность по ПСХ-2 S<sub>1</sub> = 2200 – 2250 см<sup>2</sup>/г.

Газообразователем служит алюминиевая пудра марки ПАП-2, ГОСТ 5494-95.

Известно, что достижение наибольшей прочности газобетона может быть достигнуто за счет исключения вяжущей матрицы посторонних включений и продуктов новообразований с размерами, превышающими толщину каркаса межпоровых стенок. Для этого целесообразно инертный наполнитель заменить на активный, позволяющий сократить расход цемента, способствующий уплотнению структуру и активно влияющий на физико-химические процессы, происходящие в твердеющей вяжущей композиции. В роли такого наполнителя могут выступать пылевидные отходы или материалы с высоким содержанием пылевидных и глинистых частиц [1-2].

Для сравнения активности ХОСР и тонкодисперсного глинистого песка использована зола ТЭЦ, химический состав которой представлен, в %: SiO<sub>2</sub> – 51,57; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21,87; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,70; СаО – 3,09; MgO – 1,24; SO<sub>3</sub> – 1,47; R<sub>2</sub>O – 0,52; П.П.П. – 16,54.

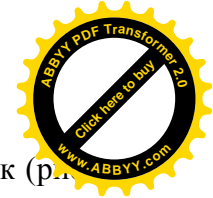
Активность материалов определялась по кинетике поглощения извести из насыщенного раствора при испытании в течение 30 суток.

Размалываемую способность изучали методом определения кинетики измельчения твердых материалов. Теплопроводность определялась на приборе ИТ-1.

Прочность вяжущих и неавтоклавного газобетона определялась согласно ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 18105.1-80, средняя плотность – ГОСТ 12730-87. Морозостойкость газобетона – по ГОСТ 1006.0-95.

Прочность неавтоклавного газобетона определялась согласно ГОСТ 10180-90, средняя плотность – ГОСТ 12730-87. Морозостойкость газобетона – по ГОСТ 1006.0-95.

Пригодность и прогнозирование поведения кремнеземистого компонента в процессе поризации и дальнейшего твердения газобетонной массы оценивались его активностью.



Кинетика поглощения извести из насыщенного раствора в течение 30 суток (рис. 1): ХОСР, глинистого песка и золы, показала, что количество извести, поглощенное материалами из насыщенного раствора, более интенсивно протекает первые 10-12 сут. испытаний, а после 22-24 сут. замедляется. Наиболее активным является ХОСР, так как он прошел предварительную тепловую обработку, в результате которой  $\beta$ -кварц и глинистое вещество аморфизированы и активны. Повышению активности способствует также предварительный помол.

Активность золы в сравнении с некондиционным песком выше, так как обуславливается сорбционными процессами вследствие повышенной микропористости частиц золы.

Мелкозернистый глинистый песок активизируется в результате помола. Кроме того, при обработке песка насыщенным раствором извести повышается pH среды свыше 8-10, что, как известно, способствует протеканию ионно-обменных реакций поверхности глины с ионами кальция и образованию на ее активных центрах гидросиликата кальция. Ряд кремнеземистых материалов по активности имеет вид: отход ХОСР > зола > глинистый песок.

Исследовалась активность фракционированных кремнеземсодержащих материалов, для чего они были рассеяны по фракциям в мм: 0,315-0,63; 0,315-0,16; 0,16 и менее и определен их химический состав (табл. 1).

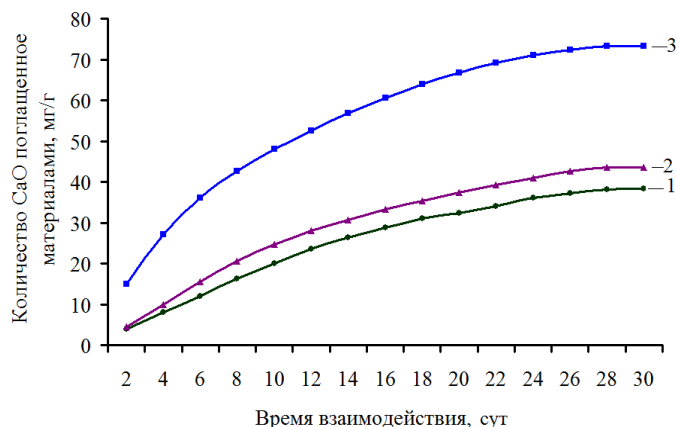


Рис. 1. Кинетика связывания извести полидисперсными кремнеземистыми материалами в течение 30 суток взаимодействия: 1 – некондиционный песок ( $S_{уд} = 2250 \text{ см}^2/\text{г}$ ); 2 – зола-унос ( $S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$ ); 3 – ХОСР ( $S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$ )

Таблица 1 - Зависимость химического состава и активности материалов от их фракционного состава

Кремнеземистые материалы	Содержание оксидов, % (мас)								Активность, мг/г	$K_{акт} = \frac{CaO + R_2O}{(Al_2O_3 + Fe_2O)}$
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	ппп	Σ		
<b>Глинистый песок Ошского месторождения</b>										
Исходный	73,74	12,52	0,93	0,86	2,85	4,67	4,41	99,9	41,6	0,41
0,63-0,315, мм	73,80	13,33	0,62	0,88	2,50	4,42	4,44	99,9	36,1	0,38
0,315-0,16, мм	74,70	13,90	0,50	1,05	2,0	4,65	3,48	99,9	38,6	0,39
0,16 мм и >>	71,20	15,44	0,31	1,80	1,50	4,63	4,15	100	38,6	0,4

Хвосты обогащения сурьмяных руд (ХОСР)										
Исходный	70,93	6,92	0,73	12,67	0,03	1,49	7,23	100	68,0	1,85
0,63-0,315мм	70,85	6,87	0,77	12,83	0,05	1,41	7,22	100	63,4	186
0,315-0,16мм	69,98	6,98	0,74	12,86	0,04	2,16	7,24	100	64,5	1,94
0,16 мм и >>	69,93	6,95	0,75	12,88	0,06	2,12	7,31	100	66,1	1,95
Зола БТЭЦ										
Исходный	51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,99	16,5	100	42,8	0,2
0,63-0,16 мм	51,68	24,87	4,77	4,33	0,65	1,37	8,56	96,2	41,6	0,19
0,315-0,16	52,1	26,48	4,32	3,86	0,66	0,55	10,8	98,6	42,0	0,14
0,16 мм и >>	53,73	23,38	6,48	3,39	1,28	0,75	9,33	98,3	45,1	0,13

Химический состав песка фр. 0,315-0,63 мм отличается незначительно от состава фр. 0,315-0,16 мм по содержанию  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Отмечено повышение глины в фр. 0,16 мм и менее.

Коэффициент активности (соотношение  $\text{CaO} + \text{R}_2\text{O}$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) меняется в сторону некоторого увеличения при повышении дисперсности материала.

По  $K_{\text{акт}}$  наиболее активным является ХОСР (1,85-1,95), затем песок (0,38- 0,41), а у золы  $K_{\text{акт}}$  получается в пределах 0,13- 0,2, т.к. она относится к низкокальциевым.

По результатам исследования определены оптимальный состав и технологические параметры производства неавтоклавногазобетона на основе кремнезестых материалов ХОСР и глинистых песков: температура формовочного шлама 37-44 °С; водотвердое отношение – 0,44-0,6; соотношение наполнителя к вяжущему от 0,75 до 1,0. При этом получены изделия с характеристиками:

$\rho_{\text{ср}} = 550-700 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{\text{сж}} = 2,2-3,0 \text{ МПа}$ ;  $\lambda = 0,14-0,18 \text{ Вт/м}^0\text{С}$ ;  $\Pi = 61,2-69,3 \%$ ;  $M_{\text{рз}} = 20-25$ .

Для стабилизации пористости газобетона изучалось влияние дисперсности наполнителей на формирование ячеистой структуры и свойства готового изделия (рис.2 и 3).

Введение в массу газобетона песка фр. 0,63-0,315 мм способствует формированию пористой структуры с отдельными деформированными порами (рис. 2, а), которые иногда сообщаются между собой, образуя изломанные щелевидные поры с размерами 0,5-3 мм. Отсюда изменяется геометрия и плотность межпоровых перегородок, которые характеризуются более рыхлой структурой и пониженной прочностью готового изделия до – 10-12 % (рис. 3).

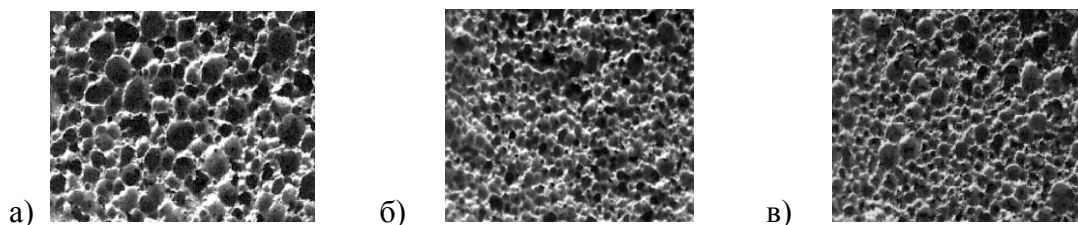
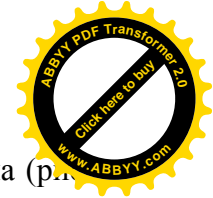


Рис. 2. Макроструктура горизонтального среза образцов газобетона с использованием отдельных фракций песка в качестве заполнителя (х 10). Фракции песка: мм: а) 0,63-0315; б) 0,315-0,16; в) 0,16 и менее.

При использовании в составе газобетонных масс песка фр. 0,315-0,16, 0,16 мм и менее формируется более однородная мелкопористая структура (рис. 6, б, в) – от 0,3 до 1,2 мм, преимущественно овальной и округлой форм, близких к сферическим, с выдержанными размерами пор с уменьшенной толщиной более плотных межпоровых



перегородок, что способствует повышению прочностных характеристик газобетона (рис. 3).

Наибольшей прочностью характеризуются образцы газобетона с использованием фракционированных отходов ХОСР, что обуславливается его высокой активностью.

Однако увеличение прочности газобетонных изделий на основе глинистого песка от 1,7 до 2,1 МПа наблюдается при использовании высокодисперсных фракций (0,315 мм и менее) и при оптимальных значениях водотвердого отношения и щелочной активации. Это обусловлено эффективным протеканием процессов поризации газобетонных масс, соответствием размеров межпоровой перегородки и зерен наполнителя. Причем, чем больше дисперсность кремнеземистых наполнителей, тем более плотная и прочная структура материала межпоровой перегородки, образуется равномерно пористая структура газобетона и, соответственно, возрастает прочность при сжатии готовых изделий (рис. 3).

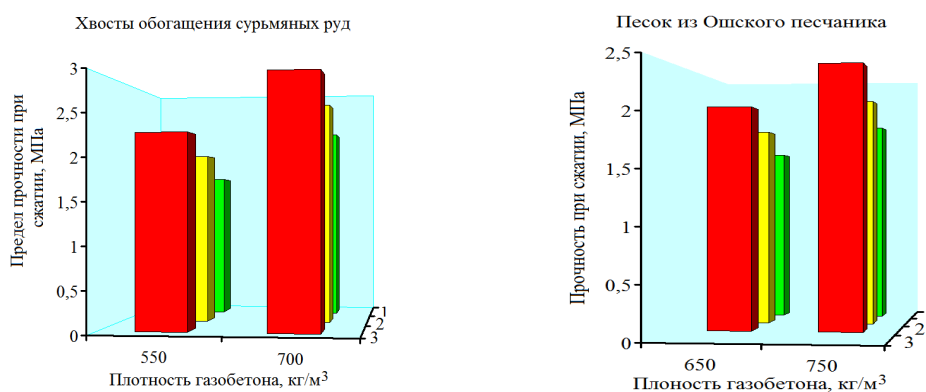


Рис. 3. Зависимость изменения предела прочности при сжатии газобетона от вида и фракционного состава кремнеземистого заполнителя. Фракции заполнителя, мм: 1 – 0,63-0,315; 2 – 0,315-0,16; 3 – 0,16 и менее.

**Выводы.** 1. Неавтоклавный газобетон на основе кремнеземистых материалов ХОСР и тонкозернистых глинистых песков, позволяет расширить сырьевую базу, экономить дорогостоящий портландцемент и попутно решать экологическую проблему охраны окружающей среды.

2. Установлены высокая размалываемая способность ХОСР, повышенная активность, что обусловлено высокой удельной поверхностью и дефектностью кристаллов.

3. Выявлено, что тонкозернистые глинистые пески могут быть использованы в качестве кремнеземсодержащего компонента в газобетоне без промежуточного процесса помола и при щелочной активации смеси.

### Список литературы

1. Чистов Ю. Д. Неавтоклавные бетоны плотной и ячеистой структуры на основе мелкодисперсных глиносодержащих отходов [Текст] / Ю.Д. Чистов, Г.Е.Трескина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века . – 1999. - №7 – 8.

2. Чистов Ю.Д. Глиносодержащие отходы – сырье для неавтоклавных бетонов [Текст] / Ю.Д. Чистов, Г.Е.Трескина // Материалы научно-практического семинара «Проблемы и пути создания композиционных материалов и технологии комплексного извлечения металлов из вторичных минеральных ресурсов» /// Под общ. ред. д.т.н., проф. С.И. Павленко. – Новокузнецк: СИБГИУ, 2000.

