

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АВТОКЛАВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Александр Михайлович Аракелян, Николай Бабкенович Князян, Эдита Мушеговна Назарян, Эллада Смбатовна Агамян, Аннета Георгиевна Арустамян, Ирина Мкртчичевна Макарян

Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА, г. Ереван, РА

ionx@sci.am

Разработан способ производства автоклавных строительных материалов на основе промышленных отходов. Изучены физико-химические свойства используемых отходов и на их основе разработана технология для указанных материалов. В качестве вяжущего была использована цементная пыль, которая образуется в больших количествах при производстве цемента и загрязняет окружающую среду. Приводятся результаты исследований по разработке составов автоклавных строительных материалов на основе осадка, полученного после мокрого улавливания цементной пыли и пыли, уловленной электрофильтрами. С целью замены кварцевого песка, количество которого в мире резко сокращается, были использованы отходы с содержанием SiO_2 : цементная пыль, пыль после мокрого улавливания и добавка в виде отработанного бетона. Прочность полученного изделия после 28 суточного твердения на воздухе при сжатии составила 25 МПа, водопоглощение - 13%.

Ключевые слова: цементная пыль, осадок, отходы, бетон, прочность, автоклав

Введение

Автоклавные строительные изделия являются одним из основных строительных материалов. При производстве автоклавных строительных материалов основным компонентом является кварцевый песок, запасы которого в мире уменьшаются, также используются цемент, известь. Большое значение приобретает разработка ресурсосберегающих технологий при производстве силикатного кирпича.

Наличие огромного количества промышленных отходов должно привести к необходимости их утилизации. В литературе имеются сведения по разработке ресурсосберегающих технологий на основе промышленных отходов. Одним из объемных промышленных отходов является цементная пыль, выделяющаяся при производстве цемента, улавливаемая электрофильтрами. Уловленная цементная пыль составляет 15% от количества получаемого клинкера [1]. Известны работы, где уловленную цементную пыль используют в производстве цемента [2], при получении силикатного кирпича [3], в сельском хозяйстве: для нейтрализации кислых почв и восполнения недостатка калия [4]. Неуловленная часть пыли выбрасывается в атмосферу. Однако, для полной утилизации цементной пыли нет единой методики, т.к. пыль разных заводов различается химическим составом и физико-химическими параметрами.

Был предложен способ очистки от пыли, включающий увлажнение газов водой с последующей их очисткой в электрофильтрах [5]. Однако, недостатком данного способа является невысокая степень очистки и невозможность использования уловленной цементной пыли в производстве цемента ввиду образования схватывающегося осадка, так как наличие в пыли клинкерообразующих соединений и свободного оксида кальция проявляют вяжущие свойства. Нами также был предложен способ мокрого

улавливания цементной пыли путем использования раствора соды или поташа, после которого образуется осадок, который является одним из ингредиентов для получения автоклавного строительного материала [6, 7].

Объем строительных отходов, которые образуются вследствие сноса устаревших зданий и при производстве строительных материалов, составляет более чем миллиарды тонн [8]. Известны также ресурсосберегающие разработки, где используются отработанный бетон [9], базальт [10], шлаки медной плавки [11], которые также являются объемными отходами. Отработанный бетон в виде отхода образуется также вследствие необходимости перестройки устаревших зданий, в результате несовершенства производственных технологий и накопления его на предприятиях строительной индустрии [8]. Целевым продуктом утилизации бетонных отходов является его использование в виде заполнителя, пригодного в качестве щебня.

Отходы базальта образуются на карьерах и на предприятиях при изготовлении из них строительных материалов. После дробления их используют в качестве щебня, а пылевидную фракцию - как наполнитель в гипсовых композициях. Шлак медной плавки – это в основном сплавы железа, кремния и кальция. Часть меди вместе со шламом выводится в отвал ~ 12...15%, загрязняя окружающую среду тяжелыми металлами [11].

Материалы и методы

Целью данной работы явилась разработка ресурсосберегающей технологии на основе промышленных отходов методом автоклавной обработки, которая является самой важной стадией технологии строительных материалов и создает условия для интенсивного образования гидросиликатов кальция.

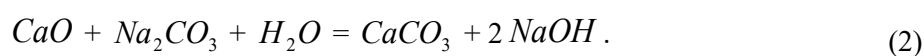
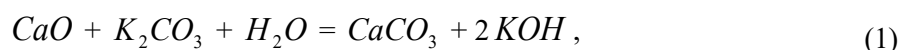
Опыты проводились на стандартном оборудовании по известной методике, применяемой для получения силикатного кирпича (ГОСТ 379-2015). При разработке данной технологии были использованы ингредиенты, химический состав которых приводится в таблице.

Таблица

Содержание химических компонентов в ингредиентах, масс. %

Ингредиенты	Химические компоненты							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	<i>n.n.n.</i>
Осадок, полученный после мокрого улавливания цементной пыли	15,60	4,70	2,30	49,20	0,60	1,80	0,77	24,70
Цементная пыль, уловленная электрофильтрами	15,60	4,70	2,30	49,20	0,60	2,20	5,50	20,0
Отработанный бетон	44,84	8,57	4,78	18,50	1,50	1,23	–	12,80
Шлак медной плавки	32,50	6,38	51,20	1,74	0,10	–	–	–
Базальт	50,0	18,0	15,0	6,0	7,0	–	–	–

Компонентами для опытов служили: осадок после мокрого улавливания цементной пыли, пыль, уловленная электрофилтрами, и добавки в виде отходов с высоким содержанием SiO_2 . В осадок после мокрого улавливания цементной пыли, образовавшийся в результате взаимодействия пыли с раствором соды или поташа, входят соединения кальция, которые вместе с SiO_2 , находящимся в цементной пыли, являются основными компонентами для получения автоклавного строительного материала. Данный осадок был получен на опытном заводе путем улавливания цементной пыли в полом скруббере на сушильной установке [6, 7]. Скруббер орошался раствором соды или поташа ($R_2O=30\dots100г/л$). При этом свободная известь ($CaO_{св.} \sim 6\%$), находящаяся в пыли, вступала в реакцию с поташом или содой с образованием карбоната кальция и гидроксидов калия или натрия по реакции:



Образующийся карбонат кальция выпадал в осадок.

Промытый осадок, полученный после мокрого улавливания цементной пыли, сушили в сушильном шкафу при температуре $105^{\circ}C$ в течение 35 минут, влажность которого составляла 8%. Его прессовали в форме силикатного кирпича под давлением 25 МПа. Однако изделие не формовалось из-за сыпучести осадка. Для придания изделию пластичности добавляли гашеную цементную пыль в количестве 40% от веса осадка, которая также являлась вяжущим. Предварительное гашение $CaO_{св.}$, содержащегося в цементной пыли, проводилось при температуре $120^{\circ}C$ в течение 45 минут во избежание неравномерного изменения объема изготавливаемых изделий.

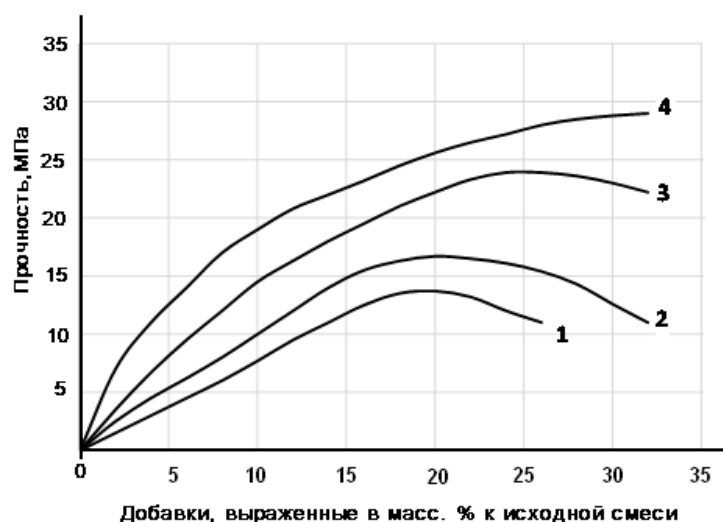
По разработанной технологии (осадок + гашёная цементная пыль) являлась исходной смесью, где цементная пыль составляла 40% от веса осадка. После чего смесь тщательно перемешивали, увлажняли, доводили влажность до 10% от массы смеси. Затем увлажненную смесь прессовали в форме силикатного кирпича под давлением 25 МПа, и подвергали гидротермальной обработке по найденному оптимальному режиму: подъем температуры до $174,5^{\circ}C$ (что составляет 78,5 Па) - 2 часа, выдержка при этой температуре - 5 часов; спуск давления - 1 час. Прочность на сжатие полученного при этих условиях изделия на основе исходной смеси после 28 суточного твердения на воздухе составляла 10...12 МПа, а водопоглощение - 16...17%. Испытания проводили по методике, применяемой для силикатного кирпича (ГОСТ 379-2015).

С целью улучшения физико-механических показателей автоклавного строительного материала было изучено влияние различных добавок в виде отходов, которые были предварительно высушены и измельчены в шаровой мельнице до удельной поверхности $2180 \text{ см}^2/г$. Для применения вышеуказанных добавок были проведены следующие подготовительные работы:

- первичное дробление путем механического воздействия (100...120мм);
- вторичное дробление до размеров кондиционного щебня (30...40мм);
- измельчение в шаровой мельнице до удельной поверхности 2018 г/см^2 .

Результаты и обсуждение

Определена зависимость прочности изделия при сжатии от количества добавок в масс.% к исходной смеси. Результаты опытов приведены на рисунке.



*Рис. Зависимость прочности на сжатие изделия от количества добавок в масс. % к исходной смеси:
1 - исходная смесь, 2 - исходная смесь + шлак медной плавки, 3 - исходная смесь + отработанный базальт,
4 - исходная смесь + отработанный тяжелый бетон*

Из рисунка видно, что наилучший физико-механический показатель имел автоклавный строительный материал с использованием отработанного тяжелого бетона. Прочность изделия после 28 суточного твердения на воздухе при сжатии составила 25 МПа , а водопоглощение – 13%. Наличие в отработанном бетоне значительного количества негидратизированных зерен цемента [12] и непрореагировавших зерен клинкера [13] положительно влияет на прочностные свойства готового изделия. Следовательно, можно заключить, что отработанный бетон сохраняет в себе внутренний ресурс, что положительно влияет на механические показатели автоклавного строительного материала.

Выводы

Анализ результатов исследований показал:

- разработанная технология является выгодной, т.к. используются промышленные отходы;
- используется традиционное оборудование;
- сокращается время гидротермальной обработки $(2+5+1)\text{ час}$ по сравнению с существующим, принятым в промышленности $(2+8+2)\text{ час}$;
- употребляется цементная пыль из электрофильтров в качестве вяжущего;
- данная технология является экологически чистой, экономически выгодной, дает возможность утилизировать промышленные отходы и очистить территории заводов из-под завалов.

Список литературы

- [1] А.М. Аракелян, С.С. Караханян, Э.С. Агамян, Получение силикатного кирпича из цементной пыли, Комплексное использование минерального сырья 12 (Алма-Ата, 1984) 55-57.
- [2] А.Д. Островская, Использование пыли, уловленной электрофильтрами вращающихся печей, Цемент 2 (1963) 13.
- [3] Патент РФ № 698949, СО4 В 15/06. Сырьевая смесь для изготовления автоклавных материалов/ С.С. Караханян, А.М. Аракелян, Э.М. Назарян и др. – Опубл.1979.

- [4] **С.М. Рояк, К.П.Магицкий, К.П. Кацис и др.** Исследование эффективности использования калийсодержащей пыли цементных заводов в сельском хозяйстве. В кн.: научных сообщений НИИЦемент 19(50) Москва, 1965) 44-48.
- [5] **В.И. Сагарин, Ю.М. Бутт,** Способ очистки отходящих газов, Цемент 46 (1969) 20-22.
- [6] Патент РФ №76618, ВО1 D 52/14. Способ очистки отходящих газов/ **С.С. Караханян, С.А. Сагарунян, З.А. Геворкян** и др. – Оубл.1980.
- [7] **Сагарунян С.А., Караханян С.С., Назарян Э.М., Сагарунян А.С., Арустамян А.Г., Аракелян А.М.** Мокрое улавливание пыли из отходящих газов цементных заводов. 1-ая Международная конференция по химии и химической технологии. ИОНХ НАН РА, Сборник тезисов. Ереван. 2007г., с.286-288.
- [8] **К.А. Карапетян, А.М. Аракелян, А. Саакян,** Об одном новом подходе к утилизации отработанных бетонных и железобетонных конструкций, Международная конференция «Архитектура и строительство», 15-18 октября, 2008, Ереван- Джермук, с.173-176.
- [9] **В.П. Трамбовецкий,** Повторное использование дробленного бетона, Engineering New Record (USA). 2004, 5 Apr., pp. 27-30.
- [10] **Т.Б. Новинкова, М.Ю. Завадько, А.Ф. Буряков,** Применение пылевидных отходов базальтового производства в качестве наполнителя гипсовых композиций, Строительные материалы 8 (2018) 9-13.
- [11] Արտոնագիր №2896 А, Պղնձահալման արտադրության խարամի մշակման եղանակ/ **Ս.Ս Սահարունյան, Ա.Գ.Առուստամյան, Է.Ս. Աղամյան և ուր.** - 2014:
- [12] **К.А. Karapetyan,** On one approach to detection of the water saturation influence on mechanical properties of concrete, Proceedings of the 16th International conference on building materials, Vaimar, 2006, I, pp. 1425-1431.
- [13] **В.М. Худавердян,** К вопросу о вторичном твердении бетонов, высохших в раннем возрасте, Изв. Арм. ССР, Механика 14(6) (1981) 39-52.

**ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ԹԱՓՈՆՆԵՐԻՅ ԱՎՏՈՎԼԱՎԱՅԻՆ ՇԻՆԱՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՄՏԱՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ**

**Ալեքսանդր Միքայելի Առաքելյան, Նիկոլայ Բարկենի Կնյազյան, Էդիտա Մուշեղի Նազարյան,
Էլլադա Սմբատի Աղամյան, Աննետա Գեորգիի Առուստամյան, Իրինա Մկրտիչի Մակարյան**
*ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. «Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ», ք. Երևան, ՀՀ
ionx@sci.am*

Մշակված է արտադրական թափոններից ավտոկլավային շինանյութերի ստացման եղանակ: Ուսումնասիրվել են օգտագործվող թափոնների ֆիզիկաքիմիական հատկությունները, ինչի հիման վրա մշակվել է տեխնոլոգիա՝ նշված շինանյութերի ստացման համար: Որպես կապակցող օգտագործվել է ցեմենտի փոշին, որը մեծ քանակներով առաջանում է ցեմենտի արտադրության ժամանակ և աղտոտում շրջակա միջավայրը: Ուսումնասիրված է ավտոկլավային շինանյութերի ստացումը՝ ցեմենտի փոշու թաց կլանումից հետո առաջացած նստվածքի և էլեկտրոֆիլտրերից

անջատված փոշու օգտագործմամբ: Քվարցային ավազի փոխարեն, որի քանակն աշխարհում արագ նվազում է, օգտագործվում են SiO_2 պարունակող թափոններ, որոնցից են ցեմենտի փոշին, թաց կլանումից առաջացած նստվածքը և օգտագործված բետոնի ջարդոնը: Ստացված արտադրատեսակի սերման ամրության սահմանը 28 օր օդում պահելուց հետո կազմել է 25 ՄՊա, իսկ ջրակլանումը՝ 13%:

Բանալի բառեր. ցեմենտի փոշի, նստվածք, ավազ, թափոն, բետոն, ամրություն, ավտոկլավ

METHOD FOR OBTAINING AUTOCLAVE BUILDING MATERIALS BASED INDUSTRIAL WASTE

Alexandr Arakelyan, Nicolay Knyazyan, Edita Nazaryan, Ellada Aghamyan, Anneta Arustamyan, Irina Makaryan

*Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS of Republic of Armenia, Yerevan, RA
ionx@sci.am*

The production method of autoclave building materials using the industrial waste was developed. The physical and chemical properties of the used wastes were studied and the technology of autoclave building materials obtainment was developed on their basis. As a binder was used cement dust which is formed in large quantities during the production of cement and pollutes the environment. The research results on the development of autoclave building materials compositions based on sediment obtained by wet trapping of cement dust and dust captured by electrostatic precipitators are presented. In order to replace quartz sand, the amount of which is drastically reducing in the world, the waste products containing of SiO_2 were used: cement dust, dust obtained by wet trapping and additive in the form of waste concrete. The compression strength of the resulting product after 28 days of hardening in air was 25 MPa, water absorption - 13%.

Keywords: cement dust, sediment, waste, concrete, strength, autoclave

Առաքելյան Ալեքսանդր Միքայելի (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, գիտաշխատող, (+374)10350334, (+374)93729912, alexandrarakelyan@gmail.com, **Կնյազյան Նիկոլայ Բարկենի, տ.գ.դ., պրոֆեսոր** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, փոխտնօրեն, (+374)10223119, (+374)091359110, kingo51@mail.ru, **Նազարյան Էդիտա Սուշեղի, ք.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, լաբորատորիայի վարիչ, (+374)10238757, (+374)91855646, editanazaryan50@gmail.com, **Աղամյան Էլլադա Սմբատի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, գիտաշխատող, (+374)10350334, (+374)93837194, eladaaghanyan@gmail.com, **Առուստամյան Աննետա Գեորգիի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, գիտաշխատող, (+374)10646178, (+374)91646178, arustamyan1946@mail.ru, **Մակարյան Իրինա Մկրտիչի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՀՀ ԳԱԱ Մանվելյանի անվ. Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ, գիտաշխատող, (+374)10234882, (+374)93101054, irinamakaryan37@gmail.com
Аракелян Александр Михайлович (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, научный сотрудник, (+374)10350334, (+374)93729912, alexandrarakelyan@gmail.com, **Князян Николай Бабкенович, д.т.н., профессор** (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, зам. директор, (+374)10223119, (+374)91359110, kingo51@mail.ru,

Назарян Эдита Мушеговна, к.х.н (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, зав. лаб. (+374)010238757, (+374)91855646, editanazaryan50@gmail.com, **Агамян Эллада Смбаговна** (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, научный сотрудник (+374)10350334, (+374)93837194, eladaaghamyan@gmail.com, **Арустамян Аннета Георгиевна** (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, научный сотрудник, (+374)10646178, (+374)91646178, arustamyan1946@mail.ru, **Макарян Ирина Мкртичевна** (РА, г. Ереван) - Институт общей и неорганической химии им. Манвеляна НАН РА, научный сотрудник, (+374)10234882, (+374)93101054, irinamakaryan37@gmail.com
Arakelyan Alexandr (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Researcher, (+374)10350334, (+374)93729912, aleksandrarakelyan@gmail.com, **Князьян Nikolay, Doctor of Sciences (Engineering), Professor** (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Vice Director, (+374)10223119, (+374)91359110, kingo51@mail.ru, **Nazaryan Edita, doctor of philosoph (Ph.D) in Chemistry** (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Head of lab. (+374)10238757, (+374)91855646, editanazaryan50@gmail.com, **Aghamyan Ellada** (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Researcher, (+374)10350334, (+374)93837194, eladaaghamyan@gmail.com, **Arustamyan Anneta** (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Researcher, (+374)10646178, (+374)91646178, arustamyan1946@mail.ru, **Makaryan Irina** (RA, Yerevan) - Institute of General and Inorganic Chemistry after M.G. Manvelyan, NAS RA, Researcher, (+374)10234882, (+374)93101054, irinamakaryan37@gmail.com

Ներկայացվել է՝ 10.01.2023թ.

Գրախոսվել է՝ 09.02.2023թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 20.04.2023թ.