

**УДК 666. 973.6**

**С. В. СТРАШУК**, заведующий лабораторией, **Т. Ю. БАГАЕВА**, научный сотрудник, **Т. А. ЩЕПАЩЕНКО**, инженер  
Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий, г. Киев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Показана возможность и целесообразность полной или частичной замены природного кварцевого песка при производстве ячеистобетонных изделий кремнеземистыми отходами горно-добывающей, энергетической и металлургической отраслей промышленности, а также отходами химической очистки воды. Определены составы сырьевых компонентов, технологические схемы и технологические параметры производства изделий из ячеистого бетона. Даны физико-механические характеристики получаемых изделий. Описан технологический процесс производства изделий из ячеистых бетонов с использованием отходов на отечественной линии производительностью до 80 тыс. м<sup>3</sup> изделий в год.

**кремнеземистые отходы горно-обогатительных комбинатов, шлам текущего выхода, гранулометрический состав, химический состав, технологические параметры, отечественная линия по производству ячеистого бетона**

© С. В. Страшук, Т. Ю. Багаева, Т. А. Щепашенко



На территории Украины работает ряд горно-обогатительных комбинатов, на которых при добыче и обогащении полезных ископаемых образуются кремнеземистые отходы – шламы и породы вскрыши. В НИИСМИ были исследованы эти отходы как источник силикатного сырья таких предприятий, как Новокриворожский, Южный, Центральный, Северный, Ингулецкий железорудные горно-обогатительные комбинаты Кривбасса, Верхнеднепровский горно-металлургический комбинат Днепропетровской области, Полтавский железорудный горно-обогатительный комбинат, Иршанский горно-обогатительный комбинат Житомирской области и графитовый комбинат Кировоградской области.

С начала эксплуатации горно-обогатительных комбинатов объемы шламовых отходов достигли более 2000 млн т (1,5 млрд м<sup>3</sup>) при ежегодном пополнении около 100 млн т и занимают площадь более 9 тыс. га. Только в Криворожском железорудном бассейне ежегодно складывается в хранилища около 60 млн м<sup>3</sup> отходов обогащения железистых кварцитов.

Вовлечение в производство ячеистого бетона отходов горно-обогатительных комбинатов позволит расширить сырьевую базу, повысить эффективность производства, а также сократить вредное воздействие на окружающую среду [1].

Шламовые отходы ГОКов – продукты технологического процесса переработки и обогащения бедных железных руд в виде обводненной пустой породы. Они представляют собой кварцево-железистый искусственный песок с модулем крупности от 0,01 до 1,2 (по гранулометрическому составу отходы представлены зернами размером менее 0,1 мм в количестве до 90 %), насыпной плотностью от 1100 до 1700 кг/м<sup>3</sup>, в т. ч. текущего производства – от 1100 до 1400 кг/м<sup>3</sup> и из шламохранилищ – от 1480 до 1700 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от содержания железорудных минералов. Содержание пылевидных и глинистых частиц – от 1,8 до 5,0 %.

По химическому составу отходы являются сложными и неодинаковыми на различных ГОКах. Содержание диоксида кремния в отходах текущего производства характеризуется относительным постоянством по шести горно-обогатительным комбинатам и составляет от 60 до 77 % и железа общего – 12–18 %. Отходы из шламохранилищ отличаются несколько увеличенным содержанием кремнезема – 53,2–71,4 % и железа общего – 12,1–27,8 %.

В лаборатории силикатных материалов Украинского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института строительных материалов и изделий проведены исследования кремнеземистых отходов горнодобывающей промышленности Украины с целью использования их в производстве ячеистобетонных изделий взамен природного кварцевого песка.

Петрографическое изучение шламовых отходов показало, что шламы представлены в основном кварцем, сростками кварца с гематитом, магнетитом и сидеритом с включениями в отдельных случаях свободных зерен магнетита, гематита и других рудных минералов.

В лаборатории радиационного контроля строительных материалов проведен гаммаспектрометрический анализ проб отходов обогащения железистых кварцитов на содержание радионуклидов. Удельная радиоактивность составляет по радию 9–10, торию 7–19 и калию 25–116 Бк/кг. Это эквивалентно суммарной удельной радиоактивности 16–54 Бк/кг, что значительно ниже допустимой (370 Бк/кг) и позволяет применять строительные материалы из отходов обогащения для всех видов строительства без ограничений.

Исследования отходов обогащения всех комбинатов Криворожья подтвердили целесообразность использования кремнеземистых отходов в качестве компонента сырьевой смеси для изготовления ячеистого бетона. Разработана технология производства мелких стеновых блоков из автоклавного ячеистого бетона с предварительной подготовкой кремнеземистого компонента.

Можно применять традиционную схему подготовки сырья, которым является помол кремнеземистого компонента с водой в шаровой мельнице. Но поскольку в пульпе, удаляемой с обогатительной фабрики в отвалы, содержатся тонкие фракции кремнеземистого материала, то наиболее рационально получение кондиционного шлама на обогатительной фабрике путем отбора из пульпы зерен наиболее мелких фракций. Разработанные параметры обогащения обеспечивают получение шлама с удельной поверхностью до 300 м<sup>2</sup>/кг.

Шлам текущего выхода содержит в своем составе до 6 % твердой части. Для использования его непосредственно в технологии производства ячеистобетонных изделий необходимо после отбора зерен мелких фракций сгущение шлама до содержания твердой составляющей в нем 40–50 %.

При содержании в шламе вредных примесей (например, содержание ионов хлора в воде шлама одного из горно-обогатительных комбинатов превышает допустимые нормы в несколько раз) удаление воды из шлама методом сгущения и фильтрации производится до влажности 20 %. Далее к обезвоженным отходам добавляют чистую воду и доводят плотность шлама до 1700 кг/м<sup>3</sup>. Такой шлам без дополнительной подготовки пригоден для применения в технологии производства мелких стеновых блоков из ячеистого бетона.

Гранулометрический состав, физико-механические свойства и химический состав шламов железорудных предприятий представлены в табл. 1, 2, 3.

Таблица 1.

## Гранулометрический состав шламов ГОКов

Наименование ГОКа	Фракция, мм	Выход, %	
		Текущего производства	Из шламохранилища
Южный	-3+1	0,1—0,5	0—0,5
	-1+0,5	1,3-1,7	0,5-1,0
	-0,5+0,2	3,3-6,6	2,3-4,2
	-0,2+0,12	5,0-10,3	4,9-6,0
	-0,12+0,074	5,5-8,8	6,3-7,0
	-0,074+0,05	6,2-7,9	6,6-7,7
	-0,05	68,2-75,3	74,1-77,2
Новокриворожский	+0,63	0,3	0,9
	+0,315	4,5	8,2
	+0,16	9,7	9,6
	+0,071	11,8	10,05
	-0,071	73,7	71,1
Центральный	+0,63	6,1-8,6	0,65
	+0,25	29,0-35,0	4,45
	+0,16	3,6-21,3	7,44
	(+0,074)	20,1-24,1	(14,4)
	+0,05	4,5-7,1	—
	(-0,074)	16,5-24,2	(73,06)
Северный	+0,5	0,75	0,15
	+0,25	5,15	1,28
	+0,14	5,1	4,75
	+0,07	9,9	6,57
	+0,05	6,35	4,55
	-0,05	72,7	82,7
Ингулецкий	+2,0	2,0	0,8
	+0,5	3,7	4,4
	+0,15	8,4	4,9
	+0,1	9,4	6,9
	-0,1	76,5	83,0
Полтавский	+0,8	0-5,3	
	+0,5	0,2-7,0	
	+0,3	0,3-6,8	
	+0,16	1,8-17,4	
	+0,08	4,4-11,3	
	+0,056	0,2-8,0	
	-0,056	58,1-89,8	

Таблица 2.

## Физико-механические свойства шламов ГОКов

Наименование ГОКа	Отходы (шламы)	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пустотность, %	Приращение объема при набухании	Содержание частиц, %	
						Пылевидных и глинистых	Глинистых
Южный	Текущего выхода	1360	2,73	32,6	10,0	2,8	0,96
	Из шламохранилищ	1670	3,12	37,0	10,0	3,2	1,8
Новокриворожский	Текущего выхода	1380	2,94	29,6	20,0	3,8	1,7
	Из шламохранилищ	1690	3,00	20,4	9,0	4,0	1,1
Центральный	Текущего выхода	1190	3,02	31,2	30,0	2,6	0,9
	Из шламохранилищ	1630	3,25	38,0	27,0	1,7	0,2
Северный	Текущего выхода	1340	3,07	40,0	20,0	4,8	0,9
	Из шламохранилищ	1570	3,85	31,3	20,0	1,8	1,25
Ингулецкий	Текущего выхода	1070	2,66	40,0	30,0	2,7	0,7
	Из шламохранилищ	1480	2,68	28,4	20,0	1,0	0,8
Полтавский	Текущего выхода	1650	2,9	—	—	—	—



Таблица 3.

## Химический состав шламов ГОКов, мас. %

Наименование ГОКа	Fe общ.	FeO общ.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ппп	CO <sub>2</sub>	MnO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
<b>Южный</b>													
Текущего выхода	11,70	8,13	7,71	62,08	1,50	2,04	8,06	10,32	9,20	0,118	0,140	0,16	0,50
Из шламохранилищ	17,70	7,74	16,71	58,22	1,18	2,65	3,55	8,83	8,70	0,090	0,402	0,20	0,21
<b>Новокриворожский</b>													
Текущего выхода	13,30	13,35	4,21	59,14	1,94	1,22	5,62	14,96	12,74	0,170	0,236	0,40	0,20
Из шламохранилищ	13,30	13,65	3,85	66,06	1,76	1,31	3,06	10,56	9,00	0,194	0,267	0,10	0,25
<b>Центральный</b>													
Текущего выхода	17,40	8,97	14,92	62,96	2,60	0,91	2,57	6,75	4,45	0,108	0,367	0,30	0,20
Из шламохранилищ	27,80	9,29	29,42	53,20	1,60	1,91	1,18	3,59	3,85	0,076	0,427	0,33	0,26
<b>Северный</b>													
Текущего выхода	18,00	7,98	16,92	58,96	1,80	2,34	4,64	5,26	4,30	0,090	0,620	0,50	0,50
Из шламохранилищ	21,60	9,03	20,85	57,70	1,78	2,24	3,05	4,00	3,90	0,068	0,642	0,46	0,50
<b>Ингулецкий</b>													
Текущего выхода	15,80	13,55	7,57	63,75	3,05	1,64	2,93	6,47	4,65	0,14	0,550	0,38	0,50
Из шламохранилищ	12,60	10,51	5,57	71,40	2,37	1,43	2,19	5,32	5,20	0,100	0,685	0,33	0,23
<b>Полтавский</b>													
Из шламохранилищ	11,2- 12,5	7,9- 10,8	5,15- 7,3	69,27- 72,86	0,7-1,13	0,033- 0,117	3,21- 4,11	4,5- 5,98	–	–	0,245- 0,349	–	1,75- 2,5

На основе отходов обогащения железистых кварцитов получен ячеистый бетон класса В1,5–В2,5 при плотности 600–700 кг/м<sup>3</sup> и марке по морозостойкости не менее 25.

Примеры составов сырьевых смесей и результаты физико-технических испытаний ячеистого бетона приведены в табл. 4 [2].

Использование отхода обогащения окисленных руд за счет содержания оксидов трехвалентного железа позволяет получить цветной бетон.

Оксид железа интенсифицирует процесс образования гидросиликатов кальция. Подтверждением может служить тот факт, что при гидротермальной обработке ячеистого бетона введение оксида железа способствует повышению почти вдвое количества связанной извести.

На скорость образования гидросиликатов кальция влияют и присутствующие в отходах обогащения минералы. Содержание амфибола, плагиоклаза, сидерита, магнетита и гематита в ячеистобетонной смеси до и после автоклавной обработки остается практически неизмен-

Таблица 4.

## Составы сырьевых смесей и результаты физико-механических испытаний ячеистого бетона на основе шламовых отходов ГОКов

Известь	Портланд-цемент	Расход компонентов, %			Водотвердое отношение	Влажность бетона по массе, %	Плотность бетона в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона при сжатии, МПа
		Отходы Южного ГОКа	Отходы Ингулецкого ГОКа	Обезжелезненные отходы Ингулецкого ГОКа				
131	120	369	–	–	0,5	29	610	3,98
136	113	382	–	–	0,5	29	630	4,34
127	106	387	–	–	0,5	28	590	3,73
125	105	352	–	–	0,52	30	590	3,65
129	108	364	–	–	0,52	31	600	3,82
128	107	–	375	–	0,49	24	610	4,0
132	110	–	388	–	0,5	21	630	3,9
122	102	–	387	–	0,51	24	580	3,8
124	105	–	355	–	0,5	25	600	2,9
133	84	–	383	–	0,5	31	610	4,4
128	107	–	–	360	0,49	24	595	3,9
130	110	–	–	380	0,5	22	620	4,0
135	84	–	–	391	0,5	29	610	4,4
124	105	–	–	361	0,5	25	590	2,8

ным, что свидетельствует об отсутствии взаимодействия между минералами и известью в процессе автоклавирования. Однако в присутствии минералов образуется больше низкоосновных гидросиликатов кальция. Это можно объяснить сходством структуры минералов с образующимися гидросиликатами кальция и выполнением минералами роли центров кристаллизации новообразованных при автоклавировании.

НИИСМИ предлагает технологию производства ячеистого бетона (газобетона) как автоклавного, так и неавтоклавного твердения в зависимости от состава сырьевой смеси, для реализации которой предлагается технологическая линия, разработанная и изготовленная на Украине, производительностью до 80 тыс. м<sup>3</sup> изделий в год.

Технологический процесс производства ячеистого бетона на отечественном оборудовании состоит из следующих переделов:

Со склада сырьевые материалы поступают в расходные бункеры. Количество, объем и точность дозирования каждого компонента определяется, исходя из состава сырьевой смеси.

Сырьевая смесь состоит из следующих компонентов: цемент, известь или известково-песчаное вяжущее, кремнеземистый компонент (зола, молотый гранулированный шлак, отходы обогащения железистых кварцитов), водно-алюминиевая суспензия (алюминиевая пудра + вода + поверхностно-активное вещество), вода. Возможно использование в качестве наполнителя отходов химической очистки воды (CaCO<sub>3</sub> в виде шлама).

Сырьевые компоненты загружаются в смеситель в следующей последовательности: вода (если в шламе содержится недостаточное ее количество), затем кремнеземистый компонент и/или наполнитель, известь или известково-песчаное вяжущее, цемент и алюминиевая суспензия.

Приготовленная смесь выливается из смесителя в предварительно подготовленную форму. Приготовление смеси в смесителе на один замес рассчитано на заливку одной формы.

Форма имеет размеры: длина – 6,0 м; ширина – 1,2 м; высота – 0,6 м.

Показана можливість і доцільність повної або часткової заміни природного кварцевого піску при виробництві виробів із ніздрюватих бетонів кремнеземними відходами гірничо-видобувної, енергетичної і металургійної галузей промисловості, а також відходами хімічного очищення води. Визначено склад сировинних компонентів, технологічні схеми і технологічні

Для снижения водотвердого отношения смеси применяют вибрационное воздействие, что улучшает газодерживающую способность смеси, уменьшает время набора пластической прочности бетона и способствует повышению его конечной прочности.

После набора бетоном необходимой пластической прочности борта формы раскрываются, и массив на поддоне при помощи распределительной передвижной платформы поступает на пост резки. Осуществляется снятие «горбушки» массива и его резка на заданный размер блоков при помощи продольного и поперечного реза дисковой пилы.

При помощи возвратной передвижной платформы поддоны возвращаются на пост формовки, а готовые изделия могут быть подвержены тепловлажностной обработке в пропарочных камерах, или набор прочности может происходить в естественных условиях.

Весь технологический процесс получения блоков из ячеистого бетона с использованием отходов промышленности должен быть представлен в технологическом регламенте на производство изделий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование отходов производства горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов Украины, химических и гальванических производств в строительной индустрии и дорожном хозяйстве: Сборник материалов Международной научно-технической конференции. – Ялта, 2000.
2. Силикатные материалы на основе горно-обогатительных комбинатов Украины: Отчет о НИР / НИИСМИ; № ГР 0193U032895. – Киев, 1995.
3. Переработка энергоресурсных отходов. Экологические, экономические и медицинские аспекты: Сборник материалов V научно-практической конференции (Свялявский р-н, 2004 г.).
4. Экология промышленных предприятий. Утилизация отходов. Очистка сточных вод. Защита воздушной среды: Труды конференции (Бахчисарайский р-н, Крым, 2005 г.).

*Поступила в редакцию 09.11.05*

The opportunity and expediency of full or partial replacement of natural quartz sand during cellular concrete articles manufacturing by siliceous wastes of mining, power and metallurgical industries, and also by wastes from chemical treatment of water are shown. Raw components' composition, flow charts and technological parameters of cellular concrete articles manufacturing are determined.



параметри виробництва виробів із ніздрюватого бетону. Надано фізико-механічні характеристики одержуваних виробів. Описано технологічний процес виробництва виробів із ніздрюватих бетонів з використанням відходів на вітчизняній лінії продуктивністю до 80 тис. м<sup>3</sup> виробів на рік.

Physic-and-mechanical characteristics of the articles being obtained are given. Technological process of cellular concrete articles manufacturing from waste products at the domestic line with productivity up to 80 thousand m<sup>3</sup> of articles per year is described.