

## СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 666.965

### СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Д.Н. ШАБАНОВ, канд. техн. наук А.М. ИВАНЕНКО  
(Полоцкий государственный университет),  
д-р техн. наук, проф. В.И. НИКИТИН  
(Брестский государственный технический университет)*

*Использование отходов производства позволяет экономить природное сырье и улучшить экологическую обстановку. Исследовано влияние состава сырьевой смеси, включающей отходы литейного производства (отработанные формовочные смеси, гранулированный ваграночный шлак), технологических параметров на свойства силикатного кирпича. Определены оптимальные параметры сырьевой смеси и автоклавной обработки материала, позволяющие получать силикатный кирпич, соответствующий требованиям действующих стандартов.*

Строительство и его материальная база - промышленность строительных материалов - являются наиболее материалоемкими отраслями, размещенными повсеместно, что ставит их в особое положение при решении вопросов комплексного использования сырья. При строительстве зданий и сооружений главным образом используются неорганические материалы, основными составляющими которых являются силикаты и алюмосиликаты, т.е. преимущественно те соединения, из которых состоят попутные продукты и отходы промышленности. Рост отвалов заставляет искать новые пути использования отходов.

Наиболее широкомасштабной областью применения минеральных попутных промышленности и отходов является производство вяжущих, пористых и плотных заполнителей для бетонов, керамических, автоклавных, стекольных строительных материалов и изделий [1].

В работе исследовали и оптимизировали свойства силикатного кирпича, получаемого с использованием отходов литейного производства - отработанной формовочной смеси и гранулированного ваграночного шлака.

Химический состав отработанной формовочной смеси включает  $\text{SiO}_2$  - 92,17...95,74 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 3,69...5,18;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 1,0...5,37;  $\text{CaO}$  - 0,84...1,4;  $\text{MgO}$  - 0,20...1,50 и органические вещества - 1,34...2,56 %. Химический состав ваграночного шлака:  $\text{SiO}_2$  - 48,10 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 15,30;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 8,57;  $\text{CaO}$  - 28,28;  $\text{MgO}$  - 3,0;  $\text{MnO}$  - 13,66; органические вещества - 0,248. Для регулирования вяжущих свойств в сырьевую смесь вводили известь Рыбницкого цементно-шиферного комбината. Известь отвечает требованиям, предъявляемым к сырью первого сорта.

Теория и практика производства показывают, что для многих строительных материалов характерна полидисперсная структура, в которой имеются тонкодисперсная составляющая, играющая роль цементирующей связки и грубозернистая, формирующая каркас [2]. Считается, что качественные характеристики строительных материалов зависят от грубозернистой составляющей, а мелкозернистая выполняет функцию фиксатора, не дающего крупным зернам менять свое положение [3].

На предварительном этапе изучалось влияние водовяжущего отношения на прочность кирпича-сырца и автоклавного материала при расходе вяжущего в смеси 15, 20 и 25 %. Вяжущее готовили совместным помолом 25 % шлака, 25 % извести и 50 % отработанной формовочной смеси (ОФС) до удельной поверхности 3500 кг/м<sup>2</sup>. Запаривание кирпича производилось в течение 7 часов, при давлении пара в автоклаве 1,0 МПа. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что увеличение расхода вяжущего, давления формования приводит к увеличению прочности сырца и готового изделия. Для изученных расходов вяжущего максимальная прочность образцов получена при водовяжущем отношении, равном 0,35.

При производстве строительных материалов и изделий с использованием отходов промышленных предприятий важное значение имеет соответствие полученных материалов действующим стандартам. Общее число рецептурных и технологических факторов, влияющих на свойства синтезированных материалов, может быть довольно значительным. На основании предварительно полученных данных были определены основные факторы и их границы варьирования.

Таблица 1

## Границы варьирования факторов

Водовязущее отношение	15 МПа			20 МПа			25 МПа		
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж, сырца}$ , кг/см <sup>2</sup>	$R_{сж,}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж, сырца}$ , кг/см <sup>2</sup>	$R_{сж,}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж, сырца}$ , кг/см <sup>2</sup>	$R_{сж,}$ , кг/см <sup>2</sup>
15 % вяжущего									
0,05	1760	0,3	78	1800	0,5	85	1790	0,6	96
0,20	1800	1,3	87	1820	1,4	91	1840	1,9	104
0,35	1830	2,0	75	1850	2,2	82	1860	2,9	100
0,50	1850	1,9	70	1890	2,1	83	1900	2,5	95
0,65	1890	1,3	68	1900	1,6	83	1940	1,9	91
20 % вяжущего									
0,05	1810	0,6	87	1840	0,8	103	1850	1,0	115
0,20	1850	2,5	114	1880	3,0	119	1890	3,3	123
0,35	1890	3,0	98	1920	3,8	101	1940	4,1	113
0,50	1940	2,2	92	1970	3,0	92	1990	3,3	101
0,65	2000	1,3	89	2030	1,7	92	2060	1,9	98
25 % вяжущего									
0,05	1850	1,5	176	1900	1,7	189	1910	2,5	195
0,20	1900	4,3	192	1930	5,4	216	1940	5,6	227
0,35	1980	4,9	176	1990	5,6	197	2010	6,1	224
0,50	2060	2,8	170	2080	3,3	177	2110	4,0	189
0,65	2170	1,3	160	2190	1,6	172	2210	1,7	181

Оценка влияния рецептурно-технологических факторов на свойства готового материала предусматривает учет расхода вяжущего, количество шлака, вводимое в состав вяжущего, водовязущее отношение, давление формования сырца, время пребывания изделий в автоклаве, давление пара. Известково-шлакокремнеземистое вяжущее (смешанное вяжущее) готовилось путем совместного помола компонентов вяжущего в шаровой мельнице до удельной поверхности 350 м<sup>2</sup>/кг. Для изучения свойств материалов был реализован насыщенный 6-факторный эксперимент по плану Рехтшафнера. Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Границы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Единицы измерения	Границы варьирования		
			-1	0	+1
Процент ввода вяжущего	$X_1$	%	5	20	25
Расход шлака от веса извести	$X_2$	%	0	25	50
Водовязущее отношение	$X_3$	–	0,25	0,35	0,45
Удельное давление прессования сырца	$X_4$	МПа	15	20	25
Время изотермического прогрева	$X_5$	ч	4	7	10
Давление пара в автоклаве	$X_6$	МПа	0,8	1	1,2

На основании полученных результатов были построены адекватные математические зависимости. Адекватность и информативность проверяли с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ . Ниже приведены зависимости для показателей.

*Прочность при сжатии кирпича сырца:*

$$R_{сж, сырца} = 0,51 + 0,14X_1 - 0,09X_2 + 0,07X_4 - 0,04X_1X_2 - 0,04X_1X_3 + 0,04X_1X_4 - 0,04X_2X_4.$$

*Прочность при сжатии автоклавированного кирпича:*

$$R_{сж, авт} = 13,8 + 4X_1 - X_2 + 0,75X_3 + 1,4X_4 - 0,7X_4^2 + X_1X_2.$$

*Коэффициент размягчения:*

$$K_{стойк.} = 0,695 + 0,068 \cdot X_1 + 0,046 \cdot X_3.$$

*Коэффициент морозостойкости:*

$$K_{мороз.} = 0,762 + 0,114X_1 + 0,067X_6 + 0,07X_1X_2 - 0,069X_1X_6 + 0,083X_2X_5 + 0,084X_3X_5 + 0,084X_4X_6.$$

Анализ полученных математических моделей выполняли с использованием графиков влияния отдельных факторов на свойства материала [4]. Можно сделать вывод, что с увеличением количества вяжущего возрастает прочность силикатного кирпича (рис. 1). Аналогичным образом на прочность влияет водовяжущее отношение. Использование шлака при малом вводе вяжущего снижает прочность материала (рис. 2). При увеличении количества вяжущего данный эффект снижается.

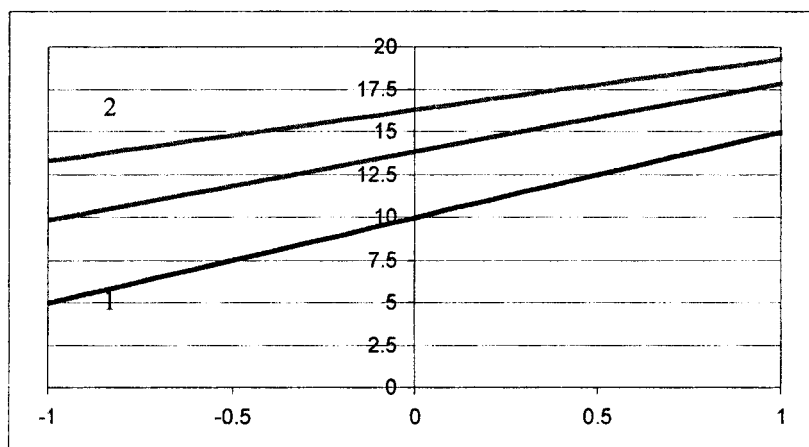


Рис. 1. Влияние количества вяжущего на прочность автоклавированного материала:  
1 – граница минимальных значений прочности; 2 – граница максимальных значений прочности

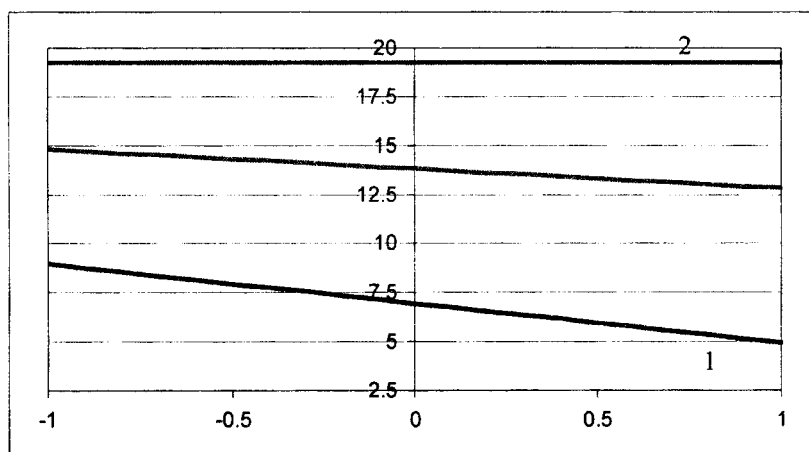


Рис. 2. Влияние количества шлака в вяжущем на прочность автоклавированного материала:  
1 - при минимальном расходе вяжущего; 2 - при максимальном расходе вяжущего

С увеличением давления формования прочность возрастает по криволинейному закону. Это можно объяснить достижением оптимального количества контактов между частицами порошков. Известно, что при увеличении давления формования выше определенного значения может привести к образованию слоев, приводящих к разрушению изделий.

Следует отметить, что на прочность образцов не влияют такие технологические параметры, как время выдержки и давление пара в автоклаве. Можно сделать вывод, что минимальные значения данных параметров позволяют обеспечить получение силикатного кирпича марки по прочности от 100 до 175. Однако анализ модели коэффициента морозостойкости показал, что время выдержки и давление пара влияет на морозостойкость изделий. Увеличение данных параметров позволяет регулировать фазовые изменения, происходящие с материалом.

Исследование фазового состава образцов проводилось методом рентгенофазового анализа. Было установлено, что основными кристаллическими фазами материала являются кварц, тоберморит, кальцит, арагонит. Для отдельных образцов, содержащих большое количество вяжущего, при наименьшей выдержке в автоклаве, давлении пара характерно наличие оксида кальция, что при эксплуатации может отрицательно сказаться на эксплуатационных свойствах материала. В целом фазовый состав образцов, полученных с использованием отходов литейного производства, не имеет отличий от фазового состава образцов силикатного кирпича, получаемого на природном кварцевом песке.

Влияние состава сырьевой смеси на физико-механические свойства силикатного кирпича можно оценить с использованием графических методов. На рис. 3 приведена номограмма влияния расхода вяжущего и расхода шлака на прочность сырца, прочность автоклавированного материала и коэффициент морозостойкости при нулевом уровне технологических параметров. Номограмма получена путем наложения изо-поверхностей прочности, коэффициента морозостойкости и изолинии прочности сырца, равной 0,4 МПа.

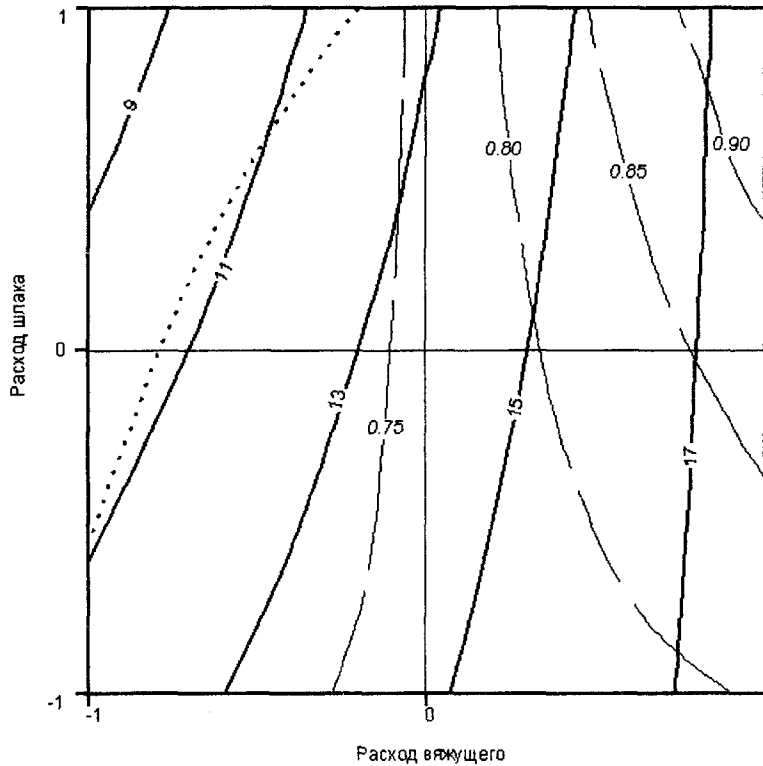


Рис. 3. Влияние расхода шлака и вяжущего на прочность автоклавированного материала, прочность сырца и коэффициент морозостойкости:  
 - - - - значения коэффициента морозостойкости;  
 — — — значения прочности автоклавированного материала, МПа;  
 ..... — прочность сырца 0,4 МПа

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что при использовании отходов литейного производства можно получить силикатный кирпич марок по прочности 125, 150, 175, обладающий требуемой долговечностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боженев П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. - М.: Изд-во АСВ, 1994.-264 с.
2. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты). - М.: Высшая школа, 1978. - 309 с.
3. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1980. - № 8. - С. 61 - 70.
4. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 263 с.