

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 3 / 2023, Vol. 15, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/33SAVN323.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Панова, В. Ф. Оптимизация состава смеси техногенного сырья для стеновых изделий и строительство из них жилых зданий в Сибири / В. Ф. Панова, С. А. Панов, И. В. Спиридонова, Ф. Н. Рыжков, М. Е. Бубырь // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/33SAVN323.pdf>

**For citation:**

Panova V.F., Panov S.A., Spiridonova I.V., Ryzhkov Ph.N., Bubyr M.E. Optimization of the composition of a mixture of technogenic raw materials for wall products and the construction of residential buildings from them in Siberia. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(3): 33SAVN323. Available at: <https://esj.today/PDF/33SAVN323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 666.974.4:519.242

**Панова Валентина Феодосьевна**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия  
Доцент кафедры «Инженерных конструкций, строительных технологий и материалов»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: panov-kps@yandex.ru

**Панов Сергей Александрович**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия  
Доцент кафедры «Инженерных конструкций, строительных технологий и материалов»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: panov-kps@yandex.ru

**Спиридонова Ирина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия  
Доцент кафедры «Инженерных конструкций, строительных технологий и материалов»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: spiridonova-iv@yandex.ru

**Рыжков Филипп Николаевич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия  
Доцент кафедры «Инженерных конструкций, строительных технологий и материалов»  
Кандидат технических наук  
E-mail: 9234691912@mail.ru

**Бубырь Максим Евгеньевич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, Россия  
Аспирант

**Оптимизация состава смеси  
техногенного сырья для стеновых изделий  
и строительство из них жилых зданий в Сибири**

**Аннотация.** Получение эффективных по технологическим параметрам и привлекательной себестоимости стеновых изделий является актуальным. В статье изложены основные требования к стеновым материалам и конструкциям, в том числе для Сибирских условий. Авторами рассмотрены примеры применения вторичных минеральных ресурсов (ВМР) для получения строительных материалов и изделий. Приведены результаты оптимизации состава шлакобетонной смеси методом математического планирования

эксперимента. Изучено влияние на свойства бетона соотношения цемента и шлакового заполнителя. Результаты исследования показали, что варьируя соотношением вяжущее: заполнитель (1:2; 1:3 и 1:4) прочность шлакобетона колеблется от 16 до 24 МПа. Определена роль корректирующих добавок: тонкомолотого клинкера и доменного гранулированного шлака. Добавкой тонкомолотого шлака можно регулировать как прочность, так и пористость шлакобетона. При добавке ее 10 %, пористость бетона составляет 10 %, при расходе шлака 15 %, пористость уменьшается до 5,5 %. Изучено действие отработанной формовочной смеси (ОФС) литейного производства как ускорителя помола шлака. Установлено, что зерна кварца ОФС являются интенсификаторами помола граншлака. Дисперсная фракция граншлака исследовалась на активность по количеству поглощенной извести из раствора, в сравнении с другими материалами. Рассмотрено два примера несущей конструкции стены из шлакового кирпича и слоя утеплителя: минераловатная плита и пенобетон. Даны результаты теплотехнического расчета стеновых конструкций для жилья в условиях Сибири. Оба рассмотренных варианта конструкции стены с применением шлакобетонного кирпича из разработанного состава удовлетворяет теплотехническим требованиям. Исследованиями доказано, что отходы металлургии: доменный шлак, отработанная формовочная смесь, являются ресурсосберегающим эффективным сырьем для получения стеновых изделий и применимы для несущих конструкций стены в Сибирских условиях.

**Ключевые слова:** шлакобетон; техногенное сырье; эксперимент; математическое планирование; активность; стеновой камень

## Введение

Решение жилищной проблемы в нашей стране является одной из главных задач. Для её осуществления необходимо иметь качественное, недорогое сырьё и энергосберегающие технологии получения стеновых изделий. Удельный вес стен в структуре здания по себестоимости составляет около 30 %, трудоемкость доходит до 25 %. Изготовление эффективных по технологическим параметрам и привлекательной себестоимости стеновых изделий в настоящее время является актуальным [1–3]. Отличительной особенностью климата России являются холодные и продолжительные зимы почти на 40 % её территории. Например, в Западной и Восточной Сибири среднегодовая температура воздуха составляет 0,1°C, причем, 80...100 раз температура воздуха переходит через ноль с амплитудой до 30°C, а расчетная температура зимнего периода равна минус 35...39°C. Отопительный период городов Омска, Новосибирска, Томска, Красноярска, Новокузнецка и др. составляет 220...235 суток, а средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха менее плюс +8°C (7,2...9,3°C). В России топливно-энергетические затраты значительно превышают аналогичные показатели Западной Европы. Наиболее рациональный путь решения проблемы теплозащиты отапливаемых зданий является применение более дешевого сырья для стен, т. е. это должно быть местное сырьё или техногенные отходы, а также разработка более эффективной конструкции стены, например, создание многослойных стеновых изделий с утеплителями [4]. Выпуск теплоизоляционных материалов (ячеистые бетоны, полимерные и волокнистые материалы) в США, Германии, Швеции, Финляндии в расчете на одного жителя в 5...7 раз выше, чем в России, но в настоящее время у нас наблюдается увеличение выпуска строительного утеплителя. Использование техногенного сырья позволит обеспечить ресурсосбережение и сохранит экологию городов, где сосредоточены промышленные предприятия [5; 6].

Одним из направлений получения несущих стеновых изделий является применение мелкозернистых бетонов.<sup>1</sup> Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов освещено в различных источниках [7–9]. Известны работы, где отходы металлургии являются сырьем для получения шлакобетона. Ранее установлено, что доменный шлак относится к относительно однородному сырью по составу и свойствам [10].<sup>2</sup> Для Сибирских условий однослойная конструкция стены не удовлетворяет теплотехническим требованиям для жилых зданий, необходим утеплитель.

*Цель работы:* исследовать техногенные отходы как сырье и разработать составы мелкозернистого бетона методом математического планирования эксперимента для изделий стеновой несущей конструкции, работающей в условиях Сибири.

Задачи работы:

- исследовать металлургические отходы как сырье для производства строительных изделий, рассмотреть их экологичность (радиоактивность и содержание вредных примесей) и возможность распада;
- изучить дисперсный шлак на активность в сравнении с другими материалами и подобрать для него ускоритель помола;
- методом математического планирования эксперимента изучить влияние соотношения между вяжущим и шлаковым заполнителем и добавки клинкера и тонкомолотого шлака на свойства шлакобетона;
- изучить теплофизические свойства стеновой конструкции, состоящей из шлакового кирпича и эффективного утеплителя для условий Сибири (2 варианта).

### Основные свойства сырьевых материалов

*Вяжущее* — шлакопортландцемент (ШПЦ). Предел прочности на сжатие его через 28 суток составляет 29,9 МПа, срок схватывания 47 минут, конец схватывания 10 часов. Содержание ангидрида серной кислоты в цементе от 1 до 4 %.

*Заполнитель* — гранулированный доменный шлак. В составе шлака фракция 10 мм составляет не более 10 %. По химическому составу сырье относится к нейтральным ( $M_o = 0,87...1,1$ ), состоит из рентгеноаморфного вещества, содержит немного примесей минералов группы мелилитов (геленит, мелилит, окерманит) (табл. 1).

Таблица 1

#### Содержание оксидов в сырьевых компонентах

Шлак, %									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
38,07	10,36	42,01	6,55	0,37	0,49	0,94	0,62	0,56	-
Клинкер, %									
20,08	5,11	62,92	1,9	3,90	0,5	-	-	0,48	2,46
Отработанная формовочная смесь (ОФС), %									
89,55	7,98	0,23	0,23	1,13	< 0,03	0,23	< 0,03	< 0,03	-
Газоочистная пыль ферросплавного производства (ФСП), %									
92,16	1,93	0,63	0,97	-	0,87	0,02	0,205	1,16	0,89

Составлено авторами

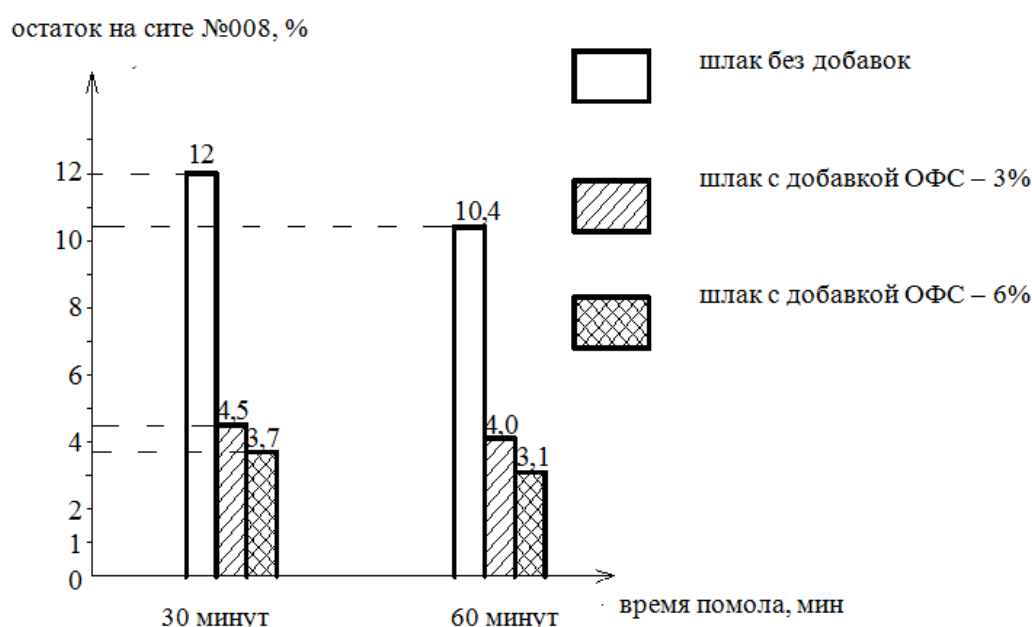
<sup>1</sup> Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. — Москва: Издательство АСВ, 2007. — 528 с.

<sup>2</sup> Применение молотого доменного гранулированного шлака в строительстве США // ВНИИТПИ. Сер. Строительные конструкции и материалы: ЭИ. — 2002. — № 1. — С. 28–32.

В качестве корректирующих добавок в шлакобетонной смеси изучены: клинкер и тонкомолотая фракция граншлака, далее приведены их свойства.

*Свойства клинкера.* Минералогический состав, %:  $C_3S$  — 64,1;  $C_2S$  — 11,8;  $C_3A$  — 7,63;  $C_4AF$  — 12,39. Активность клинкера — 512 кгс/см<sup>2</sup> (табл. 1).

*Свойства тонкомолотого гранулированного шлака.* Зерновой и химический состав шлака приведены выше. Для интенсивности его помола использован ускоритель измельчения в виде отхода литейного производства — отработанная формовочная смесь (ОФС), состоящая в основном, из мелкодисперсного кварца (около 2-ух мкм) (табл. 1). Установлено, что зерна кварца ОФС являются интенсификатором помола граншлака. При одинаковом времени помола пробы шлака с добавкой ОФС остаток на сите № 008 составляет не более 4,5 % (удельная поверхность  $S_{уд} = 400$  м<sup>2</sup>/кг), а без неё 12 % ( $S_{уд} = 280$  м<sup>2</sup>/кг). Время помола шлака с добавкой ОФС составляет 30...35 минут, увеличение времени до 60 минут не даёт эффективных показателей (рис. 1).



**Рисунок 1.** Влияние интенсификатора помола на дисперсность граншлака (составлено авторами)

Дисперсная фракция граншлака исследовалась на активность по количеству поглощенной извести из раствора, в сравнении с другими материалами (табл. 1). Установлено, что этот показатель для шлака составляет 91 мг/г; для газоочистной пыли ферросплавного производства (ФСП) — 100...105 мг/г; для сравнения, перегоревшие угольные отходы (горелая порода) — 97,4 мг/г; порошок керамического боя — 71 мг/г.

Несомненно, пыль ФСП показывает самую высокую активность, однако, в настоящей работе была изучена роль шлаковой добавки, как однородного материала с заполнителем. Однородные материалы несомненно дают положительный эффект как на физико-механические свойства бетона, так и экономические показатели.

Прежде чем применять техногенные отходы как сырьё, их необходимо проверить на экологическую безопасность [6; 8]. Шлаковый заполнитель исследовался на распад: силикатный, металлический (железистый, марганцевый).

Лабораторные исследования шлакового заполнителя после попеременного насыщения водой и пропаривания (силикатный распад), а также выдерживания 30 суток в воде (металлический распад), показали стойкость шлака к распадам, потеря массы составила около 2-х % от начальной пробы, что значительно меньше допустимой (5 %).

Оптимизация состава шлакобетона осуществлялась методом математического планирования эксперимента [11].<sup>3</sup> Назначены основные факторы варьирования: X<sub>1</sub> — содержание добавки клинкера принималось 0...20 %; X<sub>2</sub> — количество добавки молотого граншлака — 0...20 %; X<sub>3</sub> — соотношение вяжущее-заполнитель изменялось на трех уровнях: 1:2, 1:3, 1:4 (табл. 2). Состав шлакового заполнителя принимался фракцией 5...10 мм. Изготавливалось 15 составов шлакобетона с водоцементным отношением — 0,45 и добавкой пластификатора С-3 — 0,7 %. (табл. 3).

Таблица 2

**Факторы варьирования и их значения**

Факторы варьирования	Обозначения	Значение факторов варьирования на уровнях				
		1	2	3	4	5
Содержание клинкера	X <sub>1</sub>	0	5	10	15	20
Содержание гранулированного шлака	X <sub>2</sub>	0	5	10	15	20
Соотношение вяжущее: заполнитель	X <sub>3</sub>	1:2	1:3	1:4	0	0

Составлено авторами

Таблица 3

**Расчетные данные для выполнения эксперимента**

№	Клинкер		Молотый граншлак		В:З		Расход заполнителя		Расход вяжущего	
	X <sub>1</sub>	%	X <sub>2</sub>	%	X <sub>3</sub>		всего, г	шлака	всего, г	ШПЦ
1	1	0	1	20	1	1:2	1 340	1 072	660	660
2	2	5	5	0	1	1:2	1 340	1 340	660	627
3	3	10	4	5	1	1:2	1 340	1 273	660	594
4	4	15	3	10	1	1:2	1 340	1 206	660	561
5	5	20	2	15	1	1:2	1 340	1 139	660	528
6	1	0	4	5	2	1:3	1 500	1 425	500	500
7	2	5	3	10	2	1:3	1 500	1 350	500	475
8	3	10	2	15	2	1:3	1 500	1 275	500	450
9	4	15	5	0	2	1:3	1 500	1 500	500	425
10	5	20	1	20	2	1:3	1 500	1 200	500	400
11	1	0	2	15	3	1:4	1 600	1 360	400	400
12	2	5	4	5	3	1:4	1 600	1 520	400	380
13	3	10	5	0	3	1:4	1 600	1 600	400	360
14	4	15	1	20	3	1:4	1 600	1 280	400	340
15	5	20	3	10	3	1:4	1 600	1 440	400	320

Составлено авторами

Для выполнения эксперимента формовались образцы (4×4×16) см, которые подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) по режиму (3 + 8 + 3) час, при t<sub>max</sub> = 90...95°C. После ТВО образцы были испытаны на изгиб, сжатие, определялись средняя плотность, открытая пористость (водопоглощение), коэффициент размягчения (K<sub>разм</sub>) и коэффициент конструктивного качества (ККК). Результаты эксперимента по подбору состава мелкозернистого шлакобетона показаны в виде графической зависимости на рисунках 2...4.

<sup>3</sup> Марчук Г.И. Методы вычислительной математики: учебник / Г.И. Марчук. — Москва: Наука, 1980. — 535 с.

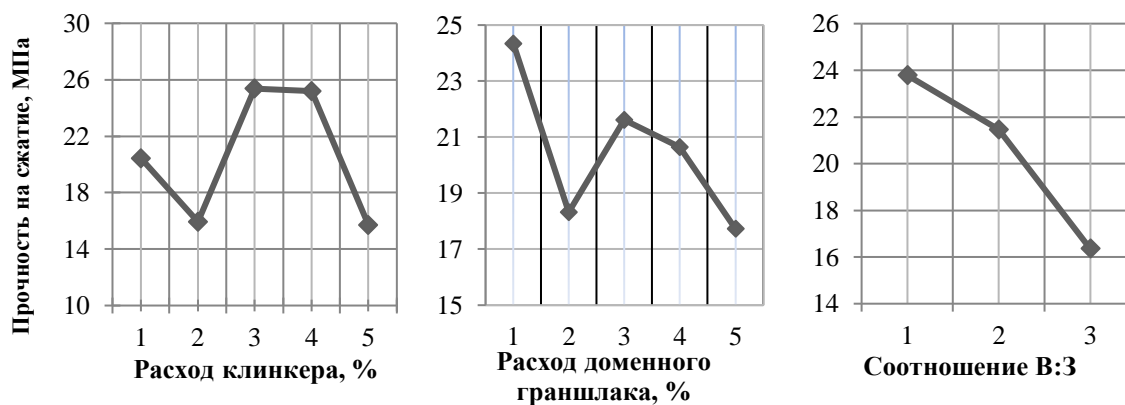


Рисунок 2. Оптимизация по прочности на сжатие (составлено авторами)

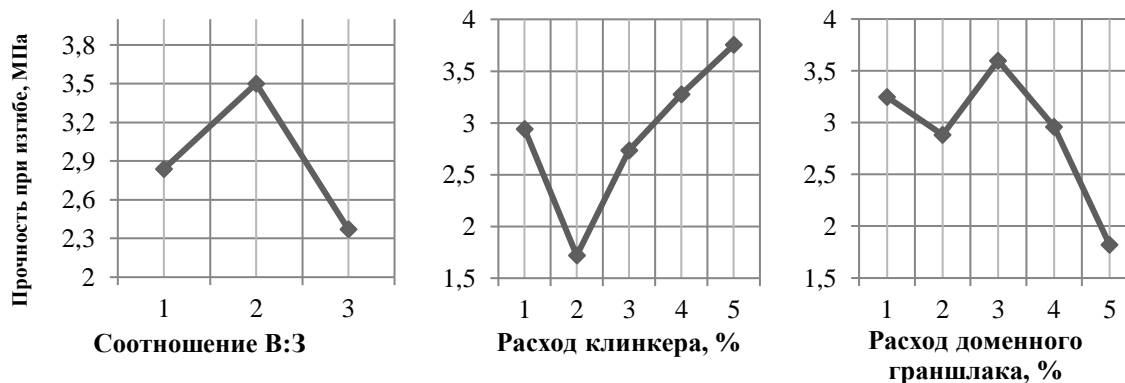


Рисунок 3. Оптимизация по прочности при изгибе (составлено авторами)

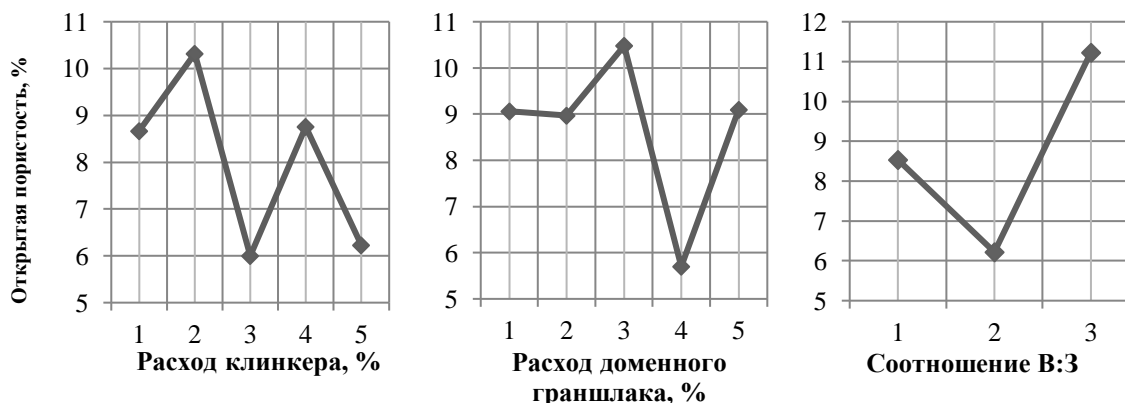


Рисунок 4. Оптимизация по открытой пористости (составлено авторами)

Установлено, что оптимальный расход клинкера в шлакобетоне составляет 10...15 %. Оптимальное содержание добавки молотого доменного граншлака колеблется от 5 до 10 % и оказывает положительный эффект на рост прочности. Дальнейшее ее увеличение снижает прочность шлакобетонных образцов.

Установлено, что при соотношении вяжущее: заполнитель равным 1:2 наблюдается максимальная прочность при сжатии (24 МПа); при соотношении компонентов 1:3 — 20 МПа, а при соотношении вяжущего и заполнителя 1:4 прочность шлакобетона находится в пределах 16 МПа. Коэффициент размягчения колеблется от 0,8 до 1,1, то есть полученный бетон является водостойким. Средняя плотность бетона находится в диапазоне от 1 600 до 1 900 кг/м<sup>3</sup>, т. е. получен облегченный бетон (для тяжелого бетона она составляет 2 400...2 500 кг/м<sup>3</sup>).

Для состава 1:3 качество бетона отмечено следующими показателями: марка бетона 200, прочность при изгибе 3,5 МПа, открытая пористость 6 %. Данный состав рекомендован для производства несущих стеновых конструкций. Шлаковый кирпич изготовлен по технологии вибропрессования на отечественной установке «Рифей — универсал».

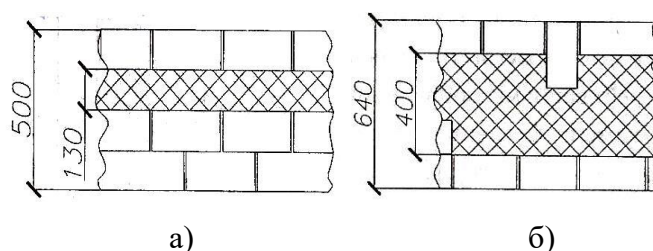
Результаты исследования показали, что варьируя соотношением вяжущее: заполнитель (1:2; 1:3 и 1:4) прочность шлакобетона колеблется от 16 до 24 МПа, то есть, регулируя это соотношение можно получить необходимую прочность шлакобетона.

Установлено, что расход добавки клинкера неоднозначно влияет на свойства шлакобетона. Даже при его отсутствии может быть достигнута прочность 20 МПа. Прочность шлакобетона увеличивается до 26 МПа при добавке клинкера 10...15 %. Прочность на изгиб меняется от 3 МПа (при отсутствии добавки клинкера) до 4 МПа (при расходе 15...20 %). Открытая пористость изменяется от 8,5 до 10 %. Добавочный клинкер способствует уменьшению пористости камня от 10 до 6 % за счет роста количества новообразований.

Установлено, что добавкой тонкомолотого шлака можно регулировать как прочность, так и пористость шлакобетона: при добавке ее 10 %, пористость составляет 10 %, при расходе шлака 15 %, пористость уменьшается до 5,5 %.

Итак, эксперимент показал, что из разрабатываемой шлаковой смеси можно получить изделия для несущей стеновой конструкции прочностью от 16 до 24 МПа. Важную роль оказывает добавка тонкомолотого шлака, которая влияет на формирование прочного скелета изделий и на его пористость. Оптимальный расход тонкомолотого шлака находится в пределах 10...15 %. Добавка клинкера в составе шлаковой смеси не оказывает значительного влияния на свойства бетона, ее увеличение снижает пористость бетона до 5 %.

На основе состава 1:3, изготовлен стеновой шлаковый камень (250×120×65 мм) со средней плотностью 1 600 кг/м<sup>3</sup>, этот материал исследован для получения двух видов конструкций стены, для эксплуатации их в городе Новокузнецке (Кузбасс). Проведен теплотехнический расчет стены из камней шлакобетона и двух видов утеплителей: 1 — плита из минеральной ваты; 2 — пенобетон (рис. 5 а, б). Лицевой слой стены выполнен из шлакобетонного кирпича и не требует дополнительной обработки и защиты, внутренний слой предполагается шпатель и красить.



**Рисунок 5.** Конструкция стены из шлакового кирпича с применением утеплителя: а) плита из минеральной ваты, б) пенобетон (составлено авторами)

Коэффициент теплопроводности шлакового кирпича рассчитан по формуле В.П. Некрасова:  $\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,6^2} - 0,16 = 0,73 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ .

Теплотехнический расчет осуществлен по классической методике с применением нормативной литературы.<sup>4, 5</sup> Известно, что приведенное сопротивление теплопередачи ( $R_0$ , м<sup>2</sup> · °С/Вт) ограждающих конструкций по расчету должно быть не менее нормируемого значения ( $R_{req}$ ) для конкретного региона строительства и зависит от градусосуток ( $D_a$ , °С·сут).

<sup>4</sup> СП 23-101-2004 Свод правил по проектированию и строительству. «Проектирование тепловой защиты зданий».

<sup>5</sup> СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология».

Установлено, что для однородной конструкции наружного ограждения сопротивление теплопередаче определяется по  $R_0$ , для неоднородной, многослойной (условия Сибири) по приведенному сопротивлению теплопередаче —  $R_0^r$ , с учетом коэффициента неоднородности ( $r$ ), при этом должно соблюдаться условие —  $R_0^r$  больше или равно  $R_{req}$ .

Конкретно для города Новокузнецка средняя температура наружного воздуха отопительного периода и его продолжительность составляет:  $t_{nt} = -8^\circ\text{C}$ ;  $z_{ht} = 228$  сут. Тогда  $D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = 6384 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$ .

Установлено требуемое сопротивление теплопередачи:  $R_{req} = 3,6344 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

На первом этапе определяются расчетные теплофизические показатели строительных материалов, отдельных слоев стеновой конструкции, а далее сопротивление теплопередаче ( $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ) стены по формуле:

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\sum \delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}};$$

$$\text{Вариант "а" — } R_0 = 1/8,7 + 3,91 + 1/23 = 4,07 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт});$$

$$\text{Вариант "б" — } R_0 = 1/8,7 + 7,03 + 1/23 = 7,19 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}).$$

Общее сопротивление теплопередаче стены с условием коэффициента неоднородности (принято 0,9) составит:

$$R_0^r = R_0 \cdot r;$$

$$\text{Вариант "а" — } R_0^r = 4,07 \cdot 0,9 = 3,663 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт});$$

$$\text{Вариант "б" — } R_0^r = 7,19 \cdot 0,9 = 6,47 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}).$$

Следовательно, выполняется условие:

$$\text{Вариант "а" — } R_0^r = 3,663 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{req} = 3,6344 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$\text{Вариант "б" — } R_0^r = 6,47 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{req} = 3,6344 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Результаты расчета приведены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Характеристики стеновых конструкций из шлакобетонного кирпича и утеплителя**

Материал слоя	Плотность слоя $\gamma_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Толщина слоя $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м $\cdot$ °C	Термическое сопротивление $R$ , м <sup>2</sup> $\cdot$ °C/Вт
			СП 50.13330.2012	$R = \delta/\lambda$
Утеплитель:				
а) минераловатная плита;	30	0,13	0,038	3,42
б) пенобетон	200	0,4	0,06	6,7
Камень стеновой:				
Вариант «а»	1600	0,24	0,73	0,33
Вариант «б»	1600	0,12	0,73	0,16
Итого: Вариант «а»				3,66
Вариант «б»				6,47
Требуемое сопротивление теплопередаче (г. Новокузнецк)				3,63

Составлено авторами

Оба рассмотренных варианта конструкции стены с применением шлакобетонного кирпича удовлетворяют теплотехническим требованиям, приведённым в СП 50.13330.2012. Толщина стены колеблется от 500 мм (минераловатный утеплитель — 130 мм) до 640 мм (пенобетон 400 мм). Второй вариант конструкции стены имеет большой запас по теплозащите, толщину утеплителя можно сократить.



Итак, исследованиями доказано, что отходы металлургии: доменный шлак, отработанная формовочная смесь, являются ресурсосберегающим эффективным сырьём для получения стеновых изделий и применимы для несущих конструкций стены в Сибирских условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Завадский В.Ф. Комплексный подход к решению проблемы теплозащиты стен отапливаемых зданий // Строительные материалы. — 1999. — № 2. — С. 7–8.
2. Теплоизоляционные материалы — в центре внимания НТС Госстроя России // Строительные материалы. — 2000. — № 4. — С. 38–39.
3. Лепилов В.И. Усиление теплозащитных свойств строительных материалов // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области. Волгоград, 2010. С. 183–187.
4. Бубырь М.Е. Исследование эффективности создания стеновой конструкции жилого здания в условиях Сибири / М.Е. Бубырь, В.Ф. Панова, С.А. Панов // Качество. Технологии. Инновации: Материалы IV Международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2021. С. 133–138.
5. Рахимов Р.З. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья / Р.З. Рахимов, У.Х. Магдеев, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы. — 2009. — № 12. — С. 38–41.
6. Панова В.Ф. Техногенные продукты, как сырье для стройиндустрии: монография / В.Ф. Панова — Новокузнецк: СибГИУ, 2009. — 289 с.
7. Бирюков В.В. Проблемы и перспективы использования золошлаковых отходов / В.В. Бирюков, В.В. Сиротюк, В.Р. Шевцов // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2008. — № 1(7). — С. 7–13.
8. Панов С.А. Декоративные строительные материалы из отбеленного и активизированного шлака: монография / С.А. Панов, В.Ф. Панова — Новокузнецк: СибГИУ, 2010. — 216 с.
9. Потапов С.С. Металлургические шлаки как потенциальное вторичное техногенное сырье // Антропогенная трансформация природной среды: материалы Международного семинара молодых ученых. Пермский государственный университет. Пермь, 2009. С. 272–275.
10. Панов С.А. Исследования получения стеновых, декоративных, безобжиговых строительных материалов, изделий и конструкций с применением техногенных отходов: монография / С.А. Панов, В.Ф. Панова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет. — Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2022. — 191 с.
11. Протодяконов М.М. Методы рационального планирования эксперимента / М.М. Протодяконов, Р.Р. Тедер — Москва: Наука, 1975. — 440 с.

**Panova Valentina Feodosievna**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
E-mail: panov-kps@yandex.ru

**Panov Sergey Alexandrovich**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
E-mail: panov-kps@yandex.ru

**Spiridonova Irina Vladimirovna**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
E-mail: spIridonova-iv@yandex.ru

**Ryzhkov Philip Nikolaevich**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
E-mail: 9234691912@mail.ru

**Bubyr Maxim Evgenievich**

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

## **Optimization of the composition of a mixture of technogenic raw materials for wall products and the construction of residential buildings from them in Siberia**

**Abstract.** Obtaining wall products that are effective in terms of technological parameters and attractive cost is relevant. The article outlines the basic requirements for wall materials and structures, including for Siberian conditions. The authors consider examples of the use of secondary mineral resources (VMR) for the production of building materials and products. The results of optimization of the composition of the slag concrete mixture by the method of mathematical planning of the experiment are presented. The influence of the ratio of cement and slag aggregate on the properties of concrete has been studied. The results of the study showed that varying the ratio of binder: filler (1:2; 1:3 and 1:4), the strength of cinder concrete ranges from 16 to 24 MPa. The role of corrective additives has been determined: finely ground clinker and blast furnace granulated slag. The addition of finely ground slag can regulate both the strength and porosity of cinder concrete. With its addition of 10 %, the porosity of concrete is 10 %, with a slag consumption of 15 %, the porosity decreases to 5,5 %. The effect of spent molding mixture (OFS) of foundry production as a slag grinding accelerator has been studied. It has been established that quartz grains of OFS are intensifiers of granulated slag grinding. The dispersed fraction of the granulated slag was studied for activity by the amount of absorbed lime from the solution, in comparison with other materials. Two examples of the load-bearing structure of a wall made of slag brick and a layer of insulation are considered: mineral wool plate and foam concrete. The results of thermal engineering calculation of wall structures for housing in Siberia are given. Both considered variants of the wall construction with the use of cinder-concrete bricks from the developed composition meet the thermal engineering requirements. Research has proved that metallurgy waste: blast furnace slag, spent molding mixture, are resource-saving effective raw materials for the production of wall products and are applicable for load-bearing wall structures in Siberian conditions.

**Keywords:** cinder concrete; technogenic raw materials; experiment; mathematical planning; research; wallstone