ковский, В.И. Зуев, Н.И. Роговцев // Сталь. – 1983. – № 10. – С. 85 – 87.

5. *Ивановский, В.И.* Эффективность работы обжиговых печей при производстве извести / [В.И. Ивановский и др.] // Сталь. –1986. – № 8. – С. 37 – 38.

6. *Лисиенко, В.Г.* Усовершенствование методов сжигания газа / В.Г. Лисиенко, Б.Н. Китаев, Н.И. Кокарев. – М., 1978.

7. *Меркер, Э.Э.* Повышение эффективности сжигания топлива во вращающихся печах обжига извести / [Э.Э. Меркер и др.] // Бюллетень НТИ «Черная металлургия». – 1995. – № 5. – С. 28 – 30.

8. *Меркер, Э.Э.* Совершенствование методики контроля параметров режима сжигания топлива во вращающихся обжиговых печах / Э.Э. Меркер, Д.А. Харламов, А.А. Ансимов // ОАО «Черметинформация». Бюл. «Черная металлургия». – 2011. – № 7. – С. 78 – 81.

9. *Трубаев, П.А.* Методы компьютерного моделирования горения и теплообмена во вращающихся печах / П.А. Трубаев, В.А. Кузнецов, П.В. Беседин. – Белгород, 2008.

УДК 691.327.123/.125

А.Г. Гатылюк, В.С. Грызлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ШЛАКОБЕТОНА НА ОТХОДАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Природное сырье, применяемое в строительстве, относится к категории невозобновляемых ресурсов, и его добыча сопровождается нанесением невосполнимого ущерба окружающей среде. Это обусловливает актуальность поиска и принятия альтернативных решений, связанных с возможностью использования техногенных отходов взамен природного сырья. Предлагается использование отходов металлургической промышленности в качестве заполнителей и замены части цемента в мелкозернистых шлакобетонах. Для этого были применены гранулированный доменный шлак и отсев доменного щебня ОАО «Северсталь».

Мелкозернистый шлакобетон, доменные шлаки, математическое планирование эксперимента, оптимальный состав.

Natural raw material, used in construction, belongs to the category of non-renewable resources; its production is harmful to the environment. It causes the relevance of search and making alternative solutions, connected with the possibility of using anthropogenic waste instead of natural raw material. The use of waste of metallurgical industry as aggregates and replacement of one part of cement in the fine-grained slag stone is proposed in the paper. As a result, granulated blast-furnace slag and screening of broken stone were used for this purpose at JSC «Severstal».

Fine-grained slag stone, blast-furnace slag, mathematical planning of the experiment, optimum composition.

В районах с развитой металлургической промышленностью для изготовления бетонов экономически выгодно использовать доменные шлаки – быстроохлажденные (гранулированные) и медленноохлажденные (отвальные, слитые в траншеи). Успешное развитие научных исследований в области бетона и железобетона позволяет решать проблему рационального применения шлаков с точки зрения не только их максимальной утилизации, но и создания материалов с заранее заданными свойствами, при изготовлении которых в полной мере используются специфические свойства шлаков.

Мелкозернистый бетон наряду с тяжелым бетоном широко используется в строительном производстве и строительной практике для изготовления сборных и монолитных конструкций разного назначения. Благоприятными условиями для его применения являются: повсеместное наличие природных песков, возможность использования техногенных отходов (зол, шлаков, отсевов от дробления горных пород, хвостов флотации и обогащения полезных ископаемых); доступность транспортирования бетонной смеси по трубопроводам на большую высоту, что очень важно для высотного монолитного строительства; высокая однородность свойств, экологичность, повышенная трещиностойкость [2].

Мелкозернистый шлакобетон обладает рядом достоинств по сравнению с обычным песчаным бетоном: повышенной прочностью, пониженными усадкой и ползучестью, высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью, коррозионной стойкостью в агрессивных средах, сопротивлением истиранию и термической стойкостью при нагревании до 700 ºС.

Мелкозернистые шлакобетоны позволяют создавать различные эффективные конструкции, в частности, – тонкостенные и армоцементные: большепролетные покрытия зданий, балконные плиты, резервуары, облицовку каналов, панели-скорлупы, напорные трубы, лотки, плиты для покрытия дорог и тротуаров, бортовые камни и т.д.

На сегодняшний день, когда цена цемента постоянно растет, повышаясь на 20 – 30 % ежегодно, а объемы строительства в стране увеличиваются, экономия цементного вяжущего вновь становится актуальной, как и прежде.

Одним из самых эффективных материалов в час-

ти экономии цемента является тонкомолотый доменный гранулированный шлак. Данный материал достаточно хорошо изучен как активная минеральная добавка в цементы. Использование тонкомолотой добавки из доменного гранулированного шлака создает своеобразную микроструктуру бетона. Также параллельно решается экологическая проблема.

Целью данной работы является проектирование состава и исследование основных эксплуатационных свойств мелкозернистого шлакобетона. Предлагаемый шлакобетон, в отличие от описанных в литературе мелкозернистых бетонов, является композитом, практически полностью состоящим из вторичного сырья металлургического производства ОАО «Северсталь». Необходимо выбрать материалы, исследовать основные свойства составляющих бетона, произвести подбор оптимального состава.

Предварительно были сделаны пробные замесы на различных заполнителях (граншлак, доменный щебень, шлаковая пемза). Результаты испытаний данных бетонов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства мелкозернистого шлакобетона на разных заполнителях

Вид заполнителя	Плотность, кг/м^3	$R_{сж1}$, МПа после ТВО, 1 сут.	$R_{сж28}$, МПа после ТВО, 28 сут.
Гранулированный доменный шлак	2015	14,50	21,39
Отсев доменного щебня	2245	16,38	23,75
Шлаковая пемза	2005	11,83	19,10

Наибольшую прочность на сжатие на 1 и 28 сут. показали бетоны на гранулированном доменном шлаке и отсеве доменного щебня.

Было принято решение делать бетон на смеси заполнителей из гранулированного доменного шлака и отсева доменного щебня. Для экономии цемента часть его заменяется тонкомолотым гранулированным шлаком.

Основные характеристики составляющих бетона:

– гранулированный доменный шлак (табл. 2);

Таблица 2

Основные свойства гранулированного доменного шлака

Насыпная плотность $\rho_н$, кг/м3	Средняя плотность в цементном тесте, г/см3	Водопотребность $В_п$, %	Влажность W, %	Модуль крупности $М_{кр}$
960	1, 97	19,2	1,71	2,6

– отсев доменного щебня (табл. 3);

Таблица 3

Основные свойства отсева доменного щебня

Насыпная плотность $\rho_н$, кг/м3	Средняя плотность в цементном тесте, г/см3	Водопотребность $В_п$, %	Влажность W, %	Модуль крупности $М_{кр}$
1385	2,43	4,04	0,67	2,9

– тонкомолотый гранулированный шлак ($s_{уд}$ = = 3500 см^2/г, тонкость помола T = 98,2 %);

– портландцемент ЦЕМ II/А-Ш32,5Н (активность 39,2 МПа, тонкость помола T = 95,9 %);

– пластифицирующая добавка «Реламикс» (ρ = = 1145 кг/м^3);

– вода (соответствует ГОСТ 23732-79).

В работе для подбора оптимального состава мелкозернистого шлакобетона применялся метод математического планирования эксперимента. Сущность планирования эксперимента с применением математико-статистических методов заключается в установлении математической зависимости между заданными свойствами бетона и расходом и свойствами составляющих компонентов. Получаемая математическая зависимость используется для назначения и поиска оптимальных составов. Построение математических зависимостей производится на основе специальных лабораторных исследований [1].

Ввиду того, что в г. Череповце не проводились исследования по подбору составов мелкозернистого шлакобетона, необходимо оценить влияние на его свойства следующих параметров, взятых за факторы планирования эксперимента:

– доля тонкомолотой добавки в смеси вяжущего (цемент + тонкомолотая добавка). На основном уровне отношение тонкомолотая добавка/вяжущее = 0,5;

– доля граншлака в смеси заполнителей (граншлак + отсев доменного щебня). На основном уровне отношение граншлак/смесь заполнителей = 0,6;

– содержание пластифицирующей добавки «Реламикс». Содержание добавки на основном уровне принято за единицу.

При проведении исследований все факторы варьировались на трех уровнях: основном, нижнем и верхнем, отстоящих от основного на одинаковую величину, называемую интервалом варьирования [3].

В результате проведения эксперимента были определены следующие характеристики мелкозернистого шлакобетона: плотность, прочность на сжатие на 28 сут., коэффициент теплопроводности. На основании полученных данных были выведены уравнения зависимостей данных характеристик от факторов варьирования и построены их графические интерпретации. Некоторые графические интерпретации представлены на рис. 1 и 2.

Уравнение плотности:

$$\rho = 1949{,}10 - 39{,}00 \cdot X_2 + 80{,}00 \cdot X_1^2 - 39{,}25 \cdot X_3^2.$$

Уравнение прочности на 28 сут. после нормального твердения:

$$R_{28} = 9{,}93 + 1{,}02 \cdot X_1 - 2{,}56 \cdot X_2 + 4{,}95 \cdot X_1^2 + 2{,}36 \cdot X_2^2 + 0{,}32 \cdot X_3^2.$$

Уравнение коэффициента теплопроводности:

$$\lambda = 0{,}35 - 0{,}04 \cdot X_1 + 0{,}01 \cdot X_1^2 + 0{,}04 \cdot X_2^2 - 0{,}05 \cdot X_3^2 + 0{,}02 \cdot X_1 \cdot X_3.$$

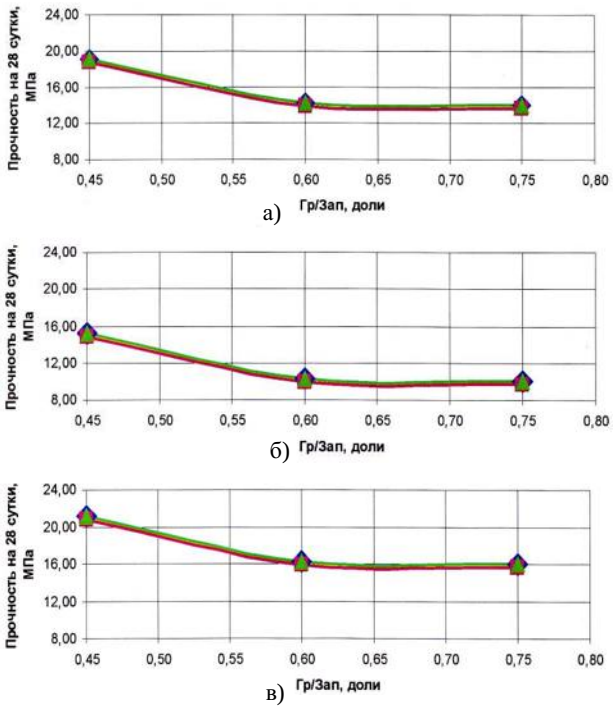


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие на 28 сут. от доли граншлака в смеси заполнителей (Гр/Зап) при:

а – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 60 %, б – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 50 %, в – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 40 %:
– Реламикс = 0,8; – Реламикс = 1;
– Реламикс = 1,2

Из графиков видно, что при увеличении доли граншлака прочность бетона снижается. Наибольшие показатели прочности при содержании тонкомолотого граншлака 40 %. «Реламикс» практически не влияет на прочность. Наименьшие значения коэффициента теплопроводности были получены при содержании гранулированного доменного шлака 60 % и при содержании пластифицирующей добавки «Реламикс» = 1,2.

По результатам работы был выбран оптимальный состав с долей гранулированного доменного шлака в смеси заполнителей 0,6, долей тонкомолотого гранулированного шлака в смеси вяжущих 0,4 и содержанием пластифицирующей добавки «Реламикс» 1,2.

Основные свойства исследуемого бетона:

– плотность ρ = 1980 кг/м^3;

– прочность на сжатие на 28 сут. $R_{сж}$ = 22,30 МПа (класс бетона по прочности на сжатие В15);

– водопоглощение W_m = 18,05 %;

– растяжение при изгибе R_{tf} = 1,05 МПа;

– марка по морозостойкости F150.

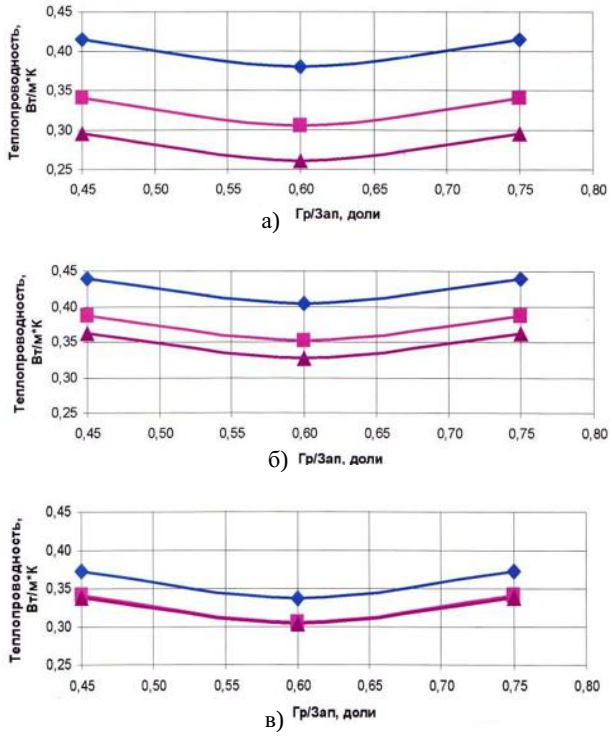


Рис. 2. Зависимость теплопроводности от доли граншлака в смеси заполнителей при:

а – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 60 %, б – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 50 %, в – содержании тонкомолотого граншлака в смеси вяжущих 40 %:
– Реламикс = 0,8; – Реламикс = 1,0;
–Реламикс = 1,2

Литература

1. *Туева, Т.В.* Основы технологии легкого бетона. Методическое пособие к учебно-исследовательской работе / Т.В. Туева, О.А. Астраханкина. – Череповец, 1996.

2. *Федынин, Н.И.* Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / Н.И. Федынин, М.И. Диамант. – М., 1975.

3. *Ферронская, А.В.* Лабораторный практикум по курсу «Технология бетонных и железобетонных изделий» / А.В. Ферронская, В.И. Стамбулко. – М., 1988.