

Мясникова А.А.

## ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ОАО «ЗМЗ» МЕТОДОМ СУХОГО ПОМОЛА

*Работа посвящена актуальной проблеме использования вторичных ресурсов и расширению области их применения.*

*Переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства, в том числе отвальных, остается актуальной задачей для отечественной металлургии. Особенно остро проблема стоит на передельных заводах типа ОАО «Златоустовский металлургический завод» ввиду сложности состава образующихся соединений и отсутствия достаточно простых и эффективных технологий их переработки. Согласно проведенной оценке, из 5 млн. т.н. шлаковых отвалов ОАО «ЗМЗ» 61% приходится на сталеплавильные шлаки, 19% составляет металлургический материал, 12% приходится на лом огнеупоров.*

*Для многих предприятий на протяжении длительного времени актуальной задачей является разработка прогрессивных технологий, обеспечивающих рециклинг производственных процессов, повышение эффективности использования сырья и снижение затрат на производство.*

*Проблема утилизации шлаков интересует учёных на протяжении длительного времени, поскольку позволяет решить экологические проблемы, вопросы энерго-, материалосбережения и освобождения ценных земель, занимаемых шлаковыми отвалами.*

*Рациональным вариантом утилизации шлаков является их использование в производстве строительных материалов. Так как шлаки хранятся в отвалах, то требуют специальной обработки для повышения их активности и соответственно эффективности для строительства. Эффективным методом повышения активности шлака является придание материалу определенной структурной нестабильности или активности. Это возможно при механической, химической или термической активации.*

*Таким образом, целью данной работы стало проведение анализа и повышение активности шлаковых отвалов производства ОАО «ЗМЗ». Оценка возможности и выявление направления их применения.*

*В соответствии с поставленной целью был изучен состав шлака, проведена оценка их однородности в зависимости от нахождения в отвалах и возможность механической активации, а также дано направление и особенности их применения в строительной отрасли.*

**Ключевые слова:** вторичные ресурсы, отходы, шлак, строительные материалы, рециклинг, экология.

Myasnikova A.A.

## INCREASING ACTIVITY OF STEELMAKING SLAG OF OJSC “ZMP” BY DRY GRINDING

*The work focuses on the current issue of the use of secondary resources and the expansion of their application.*

*Recycling and disposal of steel slag, including dump slag, remains an urgent task for*

*the domestic metallurgy. The problem is especially acute at conversion plants such as OJSC «Zlatoust Metallurgical Plant» due to the complexity of the composition of the compounds formed and the lack of sufficiently simple and effective technologies for their processing. According to the assessment, out of 5 mln. slag dumps of OJSC «ZMZ», 61% is steel-smelting slag, 19% is metal material, 12% is refractory scrap.*

*For many enterprises, the development of advanced technologies that provide recycling of production processes, increase the efficiency of raw materials and reduce production costs has been an urgent task for many enterprises.*

*The problem of recycling slags has been of interest to scientists for a long time, since it allows us to solve environmental problems, issues of energy, material conservation and the liberation of valuable lands occupied by slag dumps.*

*A rational option for recycling slags is their use in the production of building materials. Since slags are stored in dumps, they require special treatment to increase their activity and, accordingly, efficiency for construction. An effective method of increasing slag activity is to impart certain structural instability or activity to the material. This is possible with mechanical, chemical or thermal activation.*

*Thus, the purpose of this work was to analyze and increase the activity of slag dumps produced by OJSC «ZMZ» and identify the direction of their use.*

*In accordance with the goal, the composition of slag was studied, their homogeneity was assessed depending on their location in dumps and the possibility of mechanical activation, as well as the direction and features of their use in the construction industry.*

**Keywords:** secondary resources, waste, slag, building materials, recycling, ecology.

Переработке сталеплавильного шлака металлургического производства в г. Златоусте, объем которого за время работы предприятия составляет около 5 млн. тонн, должна предшествовать оценка техногенной опасности. С этой целью были отобраны пробы шлака с разных участков и горизонтов отвала. Спектрометрию на  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  - излучение провели на базе исследования «ПО «Маяк». Все пробы показали отсутствие техногенных результатов [1,2].

Эффективным методом повышения активности шлака является придание материалу определенной структурной нестабильности или активности. Существует несколько видов повышения активности материала, рассмотрим метод механической активации шлака. Метод механической активации заключается в измельчении материала и придании ему большей удельной поверхности и соответственно в данном случае повышении гидравлической и пуццолановой активности.

Измельчают материал, используя различного рода агрегаты. Все агрегаты можно разделить на механизмы периодического и непрерывного действия. Это могут быть роторно-лопастные, фильерно-ножевые, дисковые, конические, планетарные, пульсационные и другие механизмы, а так же различные размольные машины и мельницы. По способу измельчения конструкции можно разделить

на механизмы: раскалывающего, ударного, раздавливающего, истирающе-раздавливающего, ударно-истирающего и т. д. Исходя из физических свойств, выбирается оптимальный способ разрушения материала [3,4,5].

При довольно высокой концентрации энергии в размольной камере в результате взаимодействия мельящих тел с обрабатываемым веществом происходит не только измельчение, но и изменение структуры обрабатываемых частиц. Механохимическая активация приводит к изменению решетки вещества, сопровождающейся увеличением его потенциальной и поверхностной энергии и накопления энергии в деформируемом объеме [4].

Шлаки металлургической промышленности по химико-минералогическому составу могут быть близкими к клинкеру, они содержат полупродукты синтеза клинкера, такие как  $C_2S$ ,  $CA$ ,  $CS$  и многие другие, соответственно могут быть использованы для изготовления композиционных цементов. Применение таких шлаков ограничено вследствие их низкой гидравлической активности, обусловленной высокой степенью закристаллизованности составляющих продуктов [2].

Цель работы: изучение химического состава отвальных шлаков производства «Златоустовский металлургический завод» и оценка возможности его использования в

качестве составляющей вяжущего или активной минеральной добавки (АМД).

Задачи исследования:

- изучить химического состава шлака;
- оценить однородность сталеплавильных шлаков в зависимости от нахождения в отвалах.

- оценить возможность механической активации шлака.

Для проведения исследований, пробы

шлака отбирали с разных мест отвала и после подготовки определяли химический состав. В подготовку пробы входили: сушка, просеивание и удаление грубых частиц, магнитная сепарация, для удаления металлической составляющей шлака, присутствие которой составило 31 %.

Было отобрано семь проб с разных мест отвала, усреднённый химический состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Химический состав сталеплавильного шлака**

Шлак	SiO <sub>2</sub>	CaO	P	S	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	NiO
1	24.8	21.9	0.1	0.3	18.5	7.5	5.0	11.3	1.4	0.2	10	-
2	18.4	47.4	0.3	0.4	6.2	5.8	3.0	1.7	0.2	0.2	15.9	-
3	20.0	32.0	0.4	0.2	7.8	9.8	5.3	2.2	0.4	0.2	22.0	-
4	17,7	22,2	0,1	0,3	8,6	4,7	3,3	3,2	0,6	0,2	43,9	0,34
5	20,0	36,2	0,1	0,2	11,9	6,3	2,1	1,6	0,7	0,1	14,3	0,2
6	23,9	25,1	0,2	0,1	12,4	4,1	4,4	6,9	1,3	0,4	24,4	0,1

Согласно проведенному физико-химическому анализу, состав отвального шлака с различных горизонтов в пересчете на простые оксиды сильно изменяется. Фазовый состав шлаков достаточно сложен, в нем на основе рентгено-структурного анализа были выделены, в частности, такие соединения как низко- и высокоосновные оксиды кальция, кальцит, соединения гидроалюминатов, инсталит MgSiO<sub>3</sub>, ильменит FeTiO<sub>3</sub>, авгит Ca(Fe, Mg)•Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, плагиоклаз (альбит, кальцин) (Na, Ca)•(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>, а также магнетит FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, фаялит (Fe, Mg)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Кроме определения химического состава шлака, проводили оценку его дисперсности. Размер частиц исходного материала определяли под микроскопом (рис. 1, 2). Среднее величина частиц исходного шлака 0,0327 мм, они имеют сложную форму и рваные края. В поляризованном свете частицы имеют разную окраску, что свидетельствует о сложном составе шлака, но можно выделить три наиболее отчетливых цвета: желтый цвет, который свидетельствует о наличии оксида железа, красноватый – оксида титана, зеленого – оксида хрома.

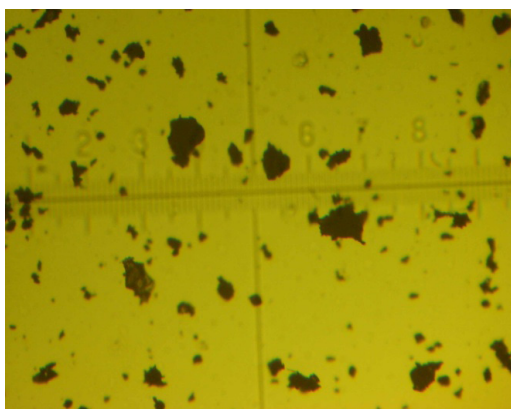
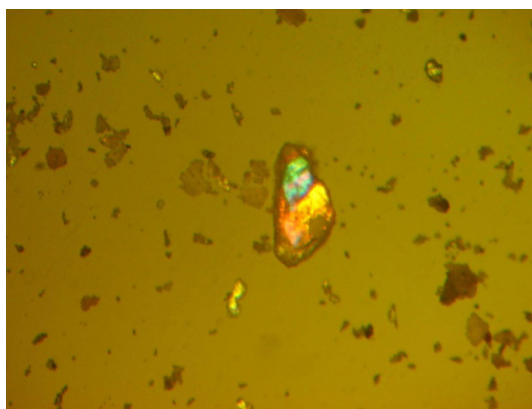


Рис. 1. Исходный шлак. Слева включения сложного состава при поляризованном свете

Для размолла шлака использовали установку роторного типа с ударнокавитационным измельчением.

При размолле шлака в роторном диспергаторе, были приняты следующие характе-

ристики: частота вращения – 4200 оборотов в минуту, диаметр отверстий на боковых поверхностях ротора и статора четыре миллиметра, и зазор между ротором и статором 0,4 мм. Активирование проводили два раза,

после каждого помола наблюдалось уменьшение размера частиц, так после первого раз-

мола средний размер зерна – 0,0158 мм, после второго – 0,0063 мм (рис. 2).

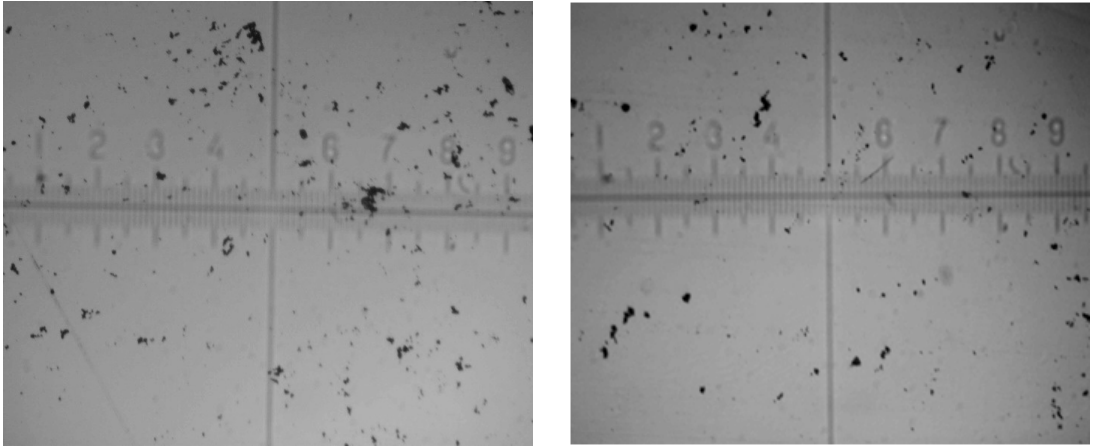


Рис. 2. Шлак активированный 1 раз слева и 2 раза справа

Степень гидравлической активности шлака по аналогии с клинкером может быть охарактеризована модулем основности и модулем активности [6-10]. Модуль основности определяют по формуле:

$$M_o = \%CaO + \%MgO / \%SiO_2 + \%Al_2O_3 \quad (1)$$

Соответственно отвалы шлаки производства ОАО «ЗМЗ» являются основными и имеют модуль основности  $M_o > 1$ , характеризующий его способность в порошке к самостоятельному твердению при смешивании с водой. Эта способность проявляется только у основных шлаков и тем больше, чем выше их модуль основности.

Улучшается качество шлаков и с повышением модуля активности, который выражается отношением:

$$M_a = \%Al_2O_3 / \%SiO_2 > 0,25 \quad (2)$$

В таких шлаках возрастает относительное содержание алюминатов кальция вызывающих их быстрое твердение [7,8]. При этом повышение содержания алюминатов приводит

к строгому ограничению дозировок шлака, для сохранения долговечности бетона, особенно в случае изготовления сульфатостойких материалов [11-15].

Для оценки активности шлака проводили испытания прочности образцов модифицированного бетона. Испытания проводили на цементе типа ЦЕМ I 32.5Н производства ОАО «Катавский цемент». Песок Мк 2,5 производства Хлебороб (Челябинская обл.), ГОСТ 8736-2014. Испытание бетона проводили стандартными методами в соответствии с нормативными требованиями. Физико-механические испытания кубиков размером 70×70×70 мм, изготовленных на стандартном растворе, согласно ГОСТ 310.1 с использованием смеси цемента и шлака, в соотношении 50×50 (для оценки шлака в качестве составляющей цемента) и дозировке 6% для оценки его в качестве АМД, результаты представлены в табл. 2. Сжатие и изгиб бетона определяли в возрасте 28 суток.

Таблица 2

**Физико-механические характеристики бетона**

№ п/п	Тонкость помола, остаток на сите 008, %	Нормальная густота	Сроки схватывания, ч/мин		Расплав конуса, мм	Предел прочности, МПа	
			начало	конец		Изгиб	Сжатие
ЦЕМ I 32.5Н	18,9	27,0	2-40	3-50	104	5,8	39,3

Продолжение табл. 2

На активированном цементе со шлаком (50 %ПЦx50Ш %)							
1	9,6	27,9	2-10	3-30	109	7,1	40,8
2	9,0	28,0	1-50	3-00	110	7,1	42,1
3	8,6	28,3	1-10	2-00	111	6,5	43,1
На активированном цементе со шлаком 6%							
1	18,8	27,5	2-45	4-00	105	9,0	45,5
2	18,5	28,0	2-40	4-00	106	9,5	44,6
3	18,5	28,0	2-40	4-00	106	9,5	46,0

Из результатов определения физико-механических характеристик модифицированного бетона можно сделать вывод, что введение активированного шлака вместо части вяжущего позволит снизить сроки схватывания и увеличить предел прочности материала при сжатии на 18% и изгибе на 7%.

Введение шлака в дозировке 6% практически не влияет на сроки схватывания и подвижность смеси, повышая прочность бетона при сжатии на 60% и изгибе на 16%.

Сопоставление усредненных значений составов шлаков ОАО «ЗМЗ» по пробам со средним составом металлургических шлаков, рекомендуемых для производства гидравлических вяжущих веществ [9,16-25], показало, что данные шлаки обладают вяжущими свойствами (все шлаки являются основными). Модуль активности Ма для данных шлаков, характеризующий гидравлическую активность, изменяется в пределах от 0,17 до 0,49, что свидетельствует о большой активности кремнезема, входящего в состав указанных выше соединений. Это подтверждено и оценкой силикатного модуля Мс, характеризующего отношение оксида кремния к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа. В целом следует отметить, что данные отвальные шлаки по критериям качества относятся к основным, гидравлически активным и могут быть использованы в качестве сырья при производстве цемента или в качестве АМД.

Таким образом, можно сделать вывод, что отвальный шлак производства ОАО «ЗМЗ» является основным и имеет некоторую гидравлическую активность. Шлак в отвале не однородный, встречаются включения разного состава, при этом модуль активности и основности имеет небольшой разбег и свидетельствует о наличии активности шлака. Измельчение сталеплавильного шлака ведет к повышению его активности.

Основное направление использования исследуемого сталеплавильного шлака в строительной индустрии заключается в введении его в качестве активной минеральной

добавки. Однако применение сталеплавильных шлаков в производстве строительных материалов осложнено широким спектром состава шлака, в зависимости от марки стали. Кроме того, шлак имеет большой объем металлической составляющей, в том числе и не магнитной.

Из выше перечисленного можно сделать вывод о возможности применения сталеплавильного шлака производства ОАО «ЗМЗ» в качестве АМД для бетона, но со строгим соблюдением ее дозировки, предварительным усреднением состава, сепарацией и механической активацией до оптимальной фракции, соответствующий удельной поверхности цемента.

### Заключение

Проведённые исследования показывают целесообразность комплексной переработки отвальных шлаков Златоустовского металлургического завода. Установлено, что шлаки не несут какой-либо техногенной опасности при работе с ними. Переработка возможна на получение слабелегированной шихтовой заготовки для производства качественных сталей и сплавов в объеме 30-35% от общего объема шлака, и до 80% оставшегося шлака может быть использовано для получения вяжущего при изготовлении строительных материалов. Однако необходимо отметить сложность в применении сталеплавильного шлака в производстве бетона, связанного с необходимостью проводить усреднение состава и предварительную сепарацию и диспергирование сырьевого материала. Несмотря на выше сказанное, применение сталеплавильного шлака с соблюдением необходимых мер позволит снизить количество цемента и расширить ассортимент строительных материалов.

## Литература

1. Дильдин, А.Н. Утилизация шлаков сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, В.И. Чуманов, Т.А. Бендера // Вестник ЮУрГУ – 2007. – № 13(85). – С.15–16.
2. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве [Текст] / В.С. Горшков, С.Е. Александров, С.И. Иващенко, И.В. Горшкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272с.
3. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1979. – 476с.
4. Сулименко, Л.М. Механохимическая активация вяжущих композиций [Текст] / Л.М. Сулименко, Н.И. Шалуненко, Л.А. Урханова // Изв. вузов. Строительство. –1995. – № 11. – С. 63 – 68.
5. Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов [Текст] / Г.С. Ходаков. – М., 1972. – 240с.
6. Данилов, Е.В. Современная технология утилизации сталеплавильных шлаков [Текст] / Е.В. Данилов // Металлург. – 2004. – №6. – С.38–39.
7. Демин, Б.Л. Техногенные образования из металлургических шлаков как объект комплексной переработки [Текст] / Б.Л. Демин, Ю.В. Сорокин, А.И. Зимин // Сталь. – 2001. – №11. – С. 99–102.
8. Гамей, А.И. Схемы переработки металлургических шлаков [Текст] / А.И. Гамей, В.В. Наумкин, Н.В. Сухинова // Сталь. – 2007. – № 2. – С.144–145.
9. Строительные материалы [Текст] / под общей ред. В.Г. Микульского и В.В. Козлова. – М.: АСВ. – 2004. – 536 с.
10. Аврашков, Л.Я. Экономическая эффективность переработки и использования вторичных черных металлов [Текст] / Л.Я. Аврашков, В.И. Метушевская, Л.Н. Шевелев. – М.: Металлургия, 1992. – 112с.
11. Добровольский, И.П. Переработка и утилизация промышленных отходов Челябинской области [Текст] / И.П. Добровольский, И.Я. Чернявкий, А.Н. Абызов, Ю.Е. Козлов. – Челябинск: изд. «ЗАО Челябинская межрайонная типография», 2003. – 256 с.
12. Панфилов, М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии [Текст] / М.И. Панфилов, Я.Ш. Школьник, Н.В. Орининский, В.А. Коломиец, Ю.В. Сорокин, А.А. Грабеклис – М.: Металлургия, 1987. – 238 с.
13. Романова, И.П. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / И.П. Романова, О.Б. Бегунов / Территория науки. – М., 2016. – № 2. – С. 94-99.
14. ГОСТ 24640 Добавки для цементов. Классификация [Текст]. – Введ. 1991-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2010. – 3с.
15. Кузнецова, Т.В. Активные минеральные добавки и их применение [Текст] / Т.В. Кузнецова, З.Б. Энтин, Б.С. Альбец, Л.Я. Гольдштейн, Н.В. Соколова, Е.Т. Яшина. – М.: Цемент, 1981. – №10. – С. 6-8.
16. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. - P. 144 - 170.
17. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: Структура и свойства: Справ. Пособие [Текст] / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1994. – 584 с.
18. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007. – 368с.
19. М.И. Абу Махади Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве [Текст] / М.И. Абу Махади, А.В. Безбородов. –М.: Вестник РУДН: Инженерные исследования. – Т.18. – №2, 2017. – С. 212-218.
20. Постникова, О. В. Модель эколого-экономической оценки эффективности комплексного освоения техногенных минеральных образований [Текст] / Вестник ЗабГУ. – № 03 (94), 2013. – С.15-23.
21. ГОСТ Р 56828.26-2017 Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Аспекты эффективного обращения с отходами в цементной промышленности [Текст]. – Введ. 2017-12-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2017. – 32с.

22. Романов, П.С. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / П.С. Романов, И.П. Романов. – М.: Синергия, 2016. – № 2. – С. 94–99.
23. Михайлов Н.В., Ребиндер П. А. О структурно-механических свойствах дисперсных и высокомолекулярных систем [Текст] // Коллоидный журнал, 1955. – Т.17. – С.107
24. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989. – 383с.
25. Майков В.П., О роли добавок в твердении шлакопортландцемента и шлаковых минералов [Текст] / В.П. Майков, Б.В. Гусев, В.Б. Ратинов/ Журнал прикладной химии. – 1976.Т.49, № 3. – С. 470-475.

## References

1. Dildin, A.N. Disposal of steel slags /A.N. Dildin, V.I. Chumanov, T.A. Bender//Bulletin of SUSU - 2007. – № 13(85). – P. 15-16.
2. Complex processing and use of metallurgical slags in construction [Text ]/V.S. Gorshkov, S.E. Alexandrov, S.I. Ivashchenko, I.V. Gorshkova. - M.: Stroyizdat, 1985. – 272 p.
3. Volzhensky, A.V. Mineral binders [Text] /A.V. Volzhensky. - M.: Stroyizdat, 1979. – 476 p.
4. Sulimenko, L.M. Mechanochemical activation of binding compositions [Text] /L.M. Sulimenko, N.I. Shalunenko, L.A. Urkhanova//Izv. universities. Construction. –1995. – № 11. – P. 63 – 68.
5. Khodakov, G.S. Fine grinding of building materials [Text] /G.S. Khodakov. – M, 1972. – 240 p.
6. Danilov, E.V. Modern technology for the disposal of steelmaking slags [Text ]/E.V. Danilov//Metallurg. – 2004. – №6. – P. 38-39.
7. Demin, B.L. Technogenic formations from metallurgical slags as an object of complex processing [Text] /B.L. Demin, Yu.V. Sorokin, A.I. Zimin//Steel. – 2001. – №11. – P. 99-102.
8. Gamei, A.I. Metallurgical slag processing schemes [Text] /A.I. Gamei, V.V. Naumkin, N.V. Sukhinova//Steel. – 2007. – № 2. – P. 144-145.
9. Construction materials [Text] /under the general revision of V.G. Mikulsky and V.V. Kozlov. - M.: DIA. – 2004. – 536 p.
10. Avrashkov, L. Ya. Economic efficiency of processing and use of secondary ferrous metals [Text] / L.Ya. Avrashkov, V.I. Metushevskaya, L.N. Shevelev. - M.: Metallurgy, 1992. – 112p.
11. Dobrovolsky, I.P. Processing and utilization of industrial waste in the Chelyabinsk region [Text] / I.P. Dobrovolsky, I. Ya. Chernyavkiy, A.N. Abyzov, Yu.E. Kozlov. – Chelyabinsk: ed. “ZAO Chelyabinsk Interdistrict Printing House”, 2003. – 256 p.
12. Panfilov, M.I. Slag processing and waste-free technology in metallurgy [Text] / M.I. Panfilov, Ya.Sh. Shkolnik, N.V. Orininsky, V.A. Kolomiets, Yu.V. Sorokin, A.A. Grabeklis - Moscow: Metallurgy, 1987.– 238 p.
13. Romanova, I.P. The use of metallurgical waste in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress [Text] / I.P. Romanova, O.B. Runners / Territory of Science. – M., 2016. – № 2. – P. 94-99.
14. GOST 24640 Additives for cements. Classification [Text]. – Introduction. 1991-07-01. – M.: Gosstandart of Russia: Publishing house of standards, 2010. – 3p.
15. Kuznetsova, T.V. Active mineral additives and their application [Text] / T.V. Kuznetsova, Z.B. Entin, B.S. Albets, L. Ya. Goldstein, N.V. So-Kolova, E.T. Yashin. – M.: Cement, 1981. – №. 10. – P. 6-8.
16. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. - P. 144 - 170.
17. Gorshkov, V.S. Binders, ceramics and glass-crystalline materials: Structure and properties: Ref. Manual [Text] / V.S. Gorshkov, V.G. Savelyev, A.V. Abakumov. -- M.: Stroyizdat, 1994.– 584 p.
18. Dvorkin, LI Construction materials from industrial waste [Text] / LI Dvorkin, O. L. Dvorkin. – M.: Phoenix, 2007 – 368p.
19. M.I. Abu Makhadi Primeneniye shlakoshchelochnykh vyazhushchikh v stroitel'stve

- [Tekst] / M.I. Abu Makhadi, A.V. Bezborodov. –М.: Vestnik RUDN: Inzhenernyye issledovaniya. – Т.18. – №2, 2017. – S. 212-218.
20. Postnikova, OV Model of ecological and economic assessment of the effectiveness of the integrated development of technogenic mineral formations [Text] / Bulletin of ZabGU. – № 03 (94), 2013. – P.15-23.
21. GOST R 56828.26-2017 Best Available Techniques. Resource saving. Aspects of effective waste management in the cement industry [Text]. – Introduction. 2017-12-01. – М.: Gosstandart of Russia: Publishing house of standards, 2017. – 32p.
22. Romanov, P.S. Waste recycling of the metallurgical industry as a way of saving natural resources and reducing environmental stress [Text] / P.S. Romanov, I.P. Romanov. –М.: Synergy, 2016. – № 2. – P. 94-99.
23. Mikhailov N.V., Rebinder P.A. On the structural and mechanical properties of dispersed and high-molecular systems [Text] //Colloid Journal, 1955. – Т.17. – P. 107
24. Kuznetsova, T.V. Physical chemistry of binding materials [Text] / T.V. Kuznetsova, I.V. Kudryashov, V.V. Timashev. - М.: Higher School, 1989. – 383 p.
25. Maykov V.P., On the role of additives in the hardening of slag portland cement and slag minerals [Text] / V.P. Maykov, B.V. Gusev, V.B. Ratinov / Journal of Applied Chemistry. – 1976. Т.49, N. 3. – P. 470-475.

**Мясникова А.А.,**

к.т.н., доцент кафедры Архитектура, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: aakirsanova@susu.ru

**Myasnikova A.A.,**

Ph.D., as. professor of the Department of Architecture, South Urals State University, с. Chelyabinsk, Russia. E-mail: aakirsanova@susu.ru

*Поступила в редакцию 31.01.2022*