

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ОГНЕУПОРНЫХ И ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО БЕТОНА

Г.Ф. Аверина, В.В. Зимич, К.Д. Владимиров, Е.В. Лазаревич
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Исследуется возможность использования отходных отвалов комбината ОАО «Группа Магнезит» г. Сатка для производства тяжелого магнезиального бетона. Установлен фракционный и минералогический состав данного вида отходов, выделены и сгруппированы фракции, пригодные для использования в качестве крупного и мелкого заполнителя. Выявлена возможность использования фракций, не входящих в категорию заполнителей, в качестве сырьевого материала для получения магнезиального вяжущего методом комбинированного способа. Выдвинута гипотеза о принципе наилучшей совместной работы продуктов гидратации магнезиального вяжущего и магнийсодержащих заполнителей в составе бетонной смеси за счет сходной минералогии данных компонентов.

Ключевые слова: магнезиальные вяжущие, магнезит, тяжелый бетон, фракционный состав, минералогический состав, заполнители.

Введение

Горнодобывающая промышленность Российской Федерации находится на втором месте по вредности среди всех прочих отраслей промышленности за счет распространения многотоннажных отходных отвалов на значительные территории. Одним из способов эффективной утилизации такого вида отходов с разным уровнем содержания соединений магния является использование их в качестве сырья для получения магнезиальных вяжущих строительного назначения методом низкотемпературного обжига [1–4].

Изделия на основе магнезиальных вяжущих обладают быстрым набором прочности без тепловой обработки и ее высокими показателями, высокой технологичностью, стойкостью к действию нефтепродуктов, грибов, бактерий, низкой истираемостью [5]. Однако в сравнении с наиболее потребляемым на данный момент вяжущим – портландцементом и различными его разновидностями – потребление магнезиальных вяжущих довольно невелико. Кроме низкой популярности магнезиального вяжущего в целом, это явление можно объяснить тем фактом, что наибольший объем ежегодно производимого цемента используется в качестве вяжущего для получения тяжелого бетона.

Тяжелый бетон – композиционный каменный материал, в состав которого входит матрица минерального или органического вяжущего, а также крупный и мелкий минеральный заполнитель. На данный момент композиционные смеси на основе магнезиального вяжущего представлены в основном строительными растворами и конст-

рукционными блоками, дисперсно-армированными древесной шерстью и опилками [6–8].

Таким образом, технология производства классического тяжелого бетона на основе магнезиального вяжущего до сих пор не проработана. Разработка данной технологии производства позволит существенно расширить область применения магнезиальных вяжущих в строительстве, что в свою очередь приведет к росту его популярности в целом и значительно ускорит процесс переработки отвалов отходов магнезиальных производств.

Как правило, магнийсодержащие породы низких сортов, являющиеся отходными отвалами, представляют собой полиминеральную смесь фракции от 0 до 70 мм [9]. Следовательно, можно предположить, что из одного вида заданного сырья с помощью предварительного отсева фракций можно получить не только качественное магнезиальное вяжущее, но и заполнители для производства на его основе тяжелого бетона.

Для обоснования данного предположения целесообразно провести анализ фракционного и минералогического состава выбранного вида сырья, а также определить качественные характеристики полученных заполнителей согласно техническим регламентам.

Анализ фракционного состава необходим для выявления количественного содержания фракций, пригодных для использования в качестве крупного и мелкого заполнителя, а также количества остаточных фракций, предполагаемых в качестве сырья для производства магнезиального вяжущего.

Анализ минералогического состава необходим для выявления количественного содержания

Строительные материалы и изделия

магнийсодержащих и примесных минералов в породе с целью назначения оптимального режима обжига [10–12].

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования принят магnezит Саткинского месторождения третьего и четвертого сортов ненормированного фракционно-го и минералогического состава.

Фракционный состав определяли рассевом проб на ситах, соответствующих техническому регламенту [13]. Сырьевые материалы подвергали комплексному исследованию с применением дериватографии, рентгенофазового анализа и стандартных методов. Термический анализ минералов проводили на дериватографе системы Luxx STA 409 немецкой фирмы Netsch. Скорость подъема температуры в печи – 10 °С/мин, максимальная температура нагрева – 1000 °С. Для испытания использовали платиновые тигли, нагревали в среде азота.

Рентгенофазовый анализ проводили на приборе ДРОН-3М, модернизированном приставкой PDWin, при напряжении 30 кВт, силе тока 10 мА и ширине выходной щели 1 мм. Съёмки вели в интервале углов 6–70°.

Исследование свойств крупного и мелкого заполнителя проводили согласно стандартным методикам [14, 15].

Исследовательская часть

Для исследования фракционного состава шихты был произведен отбор 38 проб, которые

в дальнейшем рассевали на ситах 40, 20, 10, 5, 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16. Полученные остатки на ситах вычислялись в процентах от массы пробы (табл. 1).

Рентгенофазовый анализ проводили с целью выявления минералогического состава зерен фракций >40 и 0,16...0. По результатам рентгенофазового анализа установлено, что помимо основного минерала карбоната магния $MgCO_3$ ($d/n = 2,7987; 2,1276; 1,6986 \text{ \AA}$) в пробах, исследуемых фракций присутствуют примеси кальцита $CaCO_3$ ($d/n = 3,0345; 1,8463; 1,8021 \text{ \AA}$), доломита $CaMg(CO_3)_2$ ($d/n = 2,8837; 2,1905; 1,7843 \text{ \AA}$) и железистых включений Fe_2O_3 ($d/n = 2,6671; 2,5365; 1,698 \text{ \AA}$).

Для определения количественного содержания потенциально вредных примесей кальцита и доломита в различных фракциях сырьевой шихты использовали дериватографию. Отбор материала осуществляли из усредненных проб фракций 0...0,16 и ≥ 40 мм (рис. 1).

Из полученных дериватограмм следует, что фракция ≥ 40 мм состоит преимущественно из карбоната кальция (кальцита), имеет в своем составе примеси карбоната магния и доломита, что делает эту фракцию непригодной для получения магнезиального вяжущего. Во фракции 0...0,16 мм преобладает минерал доломит, а также присутствуют примеси магнезита, кальцита и оксида железа. Используя стехиометрические уравнения, установили процентное содержание минералов в зернах исследуемых фракций. Результаты количест-

Таблица 1

Среднее содержание фракций в пробах Саткинского магнезита 3 и 4 сортов

| | Фракции, мм | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------|-------------|---------|---------|--------|---------|------------|-------------|--------------|--------------|----------|
| | > 40 | 20...40 | 10...20 | 5...10 | 2,5...5 | 1,25...2,5 | 0,63...1,25 | 0,315...0,63 | 0,16...0,315 | 0...0,16 |
| Содержание, % | 0–10 | 2–38 | 2–22 | 8–26 | 6–20 | 0–16 | 1–16 | 2–18 | 0–15 | 15–45 |
| Среднее распределение фракций в пробах, % | 5,49 | 14,13 | 9,71 | 8,82 | 6,99 | 5,31 | 4,82 | 3,86 | 2,94 | 37,76 |

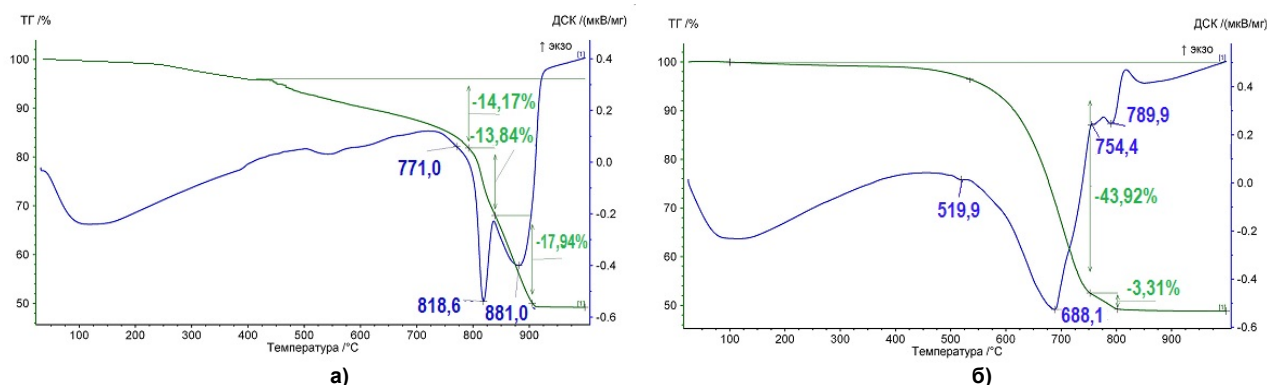


Рис. 1. Дериватограммы усредненной пробы магнезита 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения фракции а) ≥ 40 мм, б) 0...0,16 мм

венного анализа минералогического состава сырья различных фракций представлены в сводной таблице (табл. 2).

Из результатов, приведенных в таблице, следует, что минералогический состав сильно различается в зависимости от фракции исследуемого сырья. Фракция более 40 мм преимущественно состоит из доломита (до 52 %), магнезита (до 54 %) и кальцита (до 32 %). Фракция 0...0,16 мм в основном содержит магнезит (до 84 %) и доломит (до 20 %). Согласно высокому суммарному содержанию соединений магния в породе, рассматриваемые фракции пригодны для производства магнезиального вяжущего.

Таким образом, можно сделать вывод, что примерно 40 % от общего количества исследуемого материала представлено фракциями, не являющимися крупным или мелким заполнителем, но пригодными в качестве сырья для производства магнезиального вяжущего по комбинированному методу.

Вторая часть исследования состоит в предварительной оценке пригодности использования фракций 5...40 мм и 0,16...2,5 мм исследуемого материала в качестве крупного и мелкого заполнителя соответственно.

В качестве основной характеристики пригодности мелкого заполнителя был выбран показатель

зернового состава, определяемый согласно ГОСТ 8735-88. «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Результаты исследования зернового состава отсева исследуемой породы Саткинского месторождения фракции 0,16...2,5 приведены в табл. 3.

Кривая просеивания и область значений полных остатков на ситах, допустимых для применения в производстве тяжелого бетона согласно регламенту, представлена на рис. 2.

В качестве основной характеристики пригодности крупного заполнителя в данной работе принимали показатель дробимости согласно ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Методика определения данного показателя принималась согласно ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

По результатам исследования было выявлено, что крупный заполнитель представлен фракцией 5-10 в количестве 22,4 % и 10-20 в количестве 70,6 %. Количество зерен, прошедших через контрольные сита 7,0 и 7,9 % соответственно. Суммарная дробимость крупного заполнителя с учетом количественного содержания фракций составил 7,7 %, что для осадочных пород соответствует

Минералогический состав проб различных фракций

Таблица 2

| Фракция | | MgCO ₃ , % | CaCO ₃ , % | CaMg(CO ₃) ₂ , % | Угристо-хлористое вещество, % |
|---------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| >40 мм | Разброс значений | 29...54 | 2,5...38 | 31,5...52 | 3...4 |
| | Среднее | 30 | 23 | 41 | |
| 20...40 мм | Разброс значений | 88...90 | Следы | 8...13 | 3...4 |
| | Среднее | 89 | | 11 | |
| 5...20 мм | Разброс значений | 43...72 | Следы | 21,5...51,5 | < 1 |
| | Среднее | 53 | | 42 | |
| 0,16...2,5 мм | Разброс значений | 74...80 | Следы | 5...17 | < 1 |
| | | 69 | | 11 | |
| 0...0,16 мм | Разброс значений | 75...84,5 | Следы | 3,5...19,7 | < 1 |
| | Среднее | 80 | | 12 | |

Результаты исследования зернового состава мелкого заполнителя фракции 0,16...2,5 мм

Таблица 3

| Наименование остатка | Размеры отверстий сит, мм | | | | |
|----------------------|---------------------------|------|------|-------|------|
| | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 |
| Остаток, г | 230 | 470 | 420 | 520 | 260 |
| Частный остаток, % | 11,5 | 23,5 | 21 | 26 | 13 |
| Полный остаток, % | 11,5 | 35 | 56 | 82 | 95 |

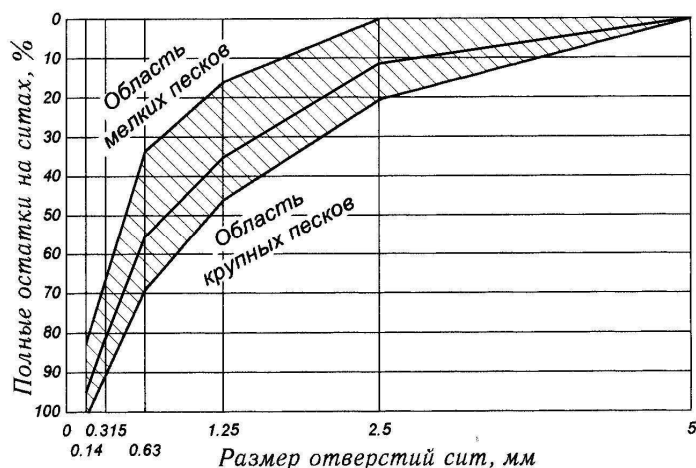


Рис. 2. Кривая просеивания для отсева исследуемой породы Саткинского месторождения

марке 1200. Следовательно, данный вид крупного заполнителя допускается применять для получения тяжелых бетонов любого класса прочности.

Таким образом, можно сделать вывод, что магнезит 3-го и 4-го сортов Саткинского месторождения пригоден для использования как в качестве сырья для производства магнезиального вяжущего, так и в качестве крупного и мелкого заполнителей. Для эффективной утилизации данного вида отходов целесообразно разделять общую массу сырья на фракции > 40 мм, $5 \dots 40$ мм, $0,16 \dots 2,5$ мм и $< 0,16$ мм. Фракцию более 40 мм дополнительно измельчать и совместно с зернами фракции менее 0,16 мм и использовать в качестве сырья для производства магнезиальных вяжущих комбинированным способом. На основе такого вяжущего можно получать тяжелые бетоны, используя отсев фракции $0,16 \dots 2,5$ мм в качестве мелкого заполнителя и щебень фракции $10 \dots 40$ мм в качестве крупного. Учитывая единую природу всех исходных компонентов такой бетонной смеси можно предположить, что в затвердевшем композите зерна заполнителя будут иметь высокие показатели сцепления с матрицей вяжущего.

Выводы

1. Магнезит третьего и четвертого сортов Саткинского месторождения разнороден по фракционному и химическому составу. Отдельные его фракции могут использоваться в качестве крупного и мелкого заполнителя. Крупный заполнитель имеет самую высокую марку по показателю дробимости, что предполагает его использование для получения тяжелых бетонов любого класса по прочности. Зерновой состав мелкого заполнителя находится в области допустимых значений для применения в производстве тяжелых бетонов.

2. Зерна фракции более 40 мм и менее 16 мм не пригодны для использования в качестве крупного или мелкого заполнителя, но благодаря высо-

кому суммарному содержанию соединений магния могут использоваться в качестве сырья для получения магнезиальных вяжущих строительного назначения комбинированным методом.

3. Использование крупного и мелкого заполнителя, полученного рассевом пород, являющихся сырьем для получения магнезиального вяжущего, позволит получать на его основе тяжелые бетоны высокой прочности за счет принципа наилучшей совместной работы компонентов за счет сходной минералогии.

4. Производство тяжелых магнезиальных бетонов позволит расширить область применения магнезиальных вяжущих и существенно ускорит темпы переработки отходов магнийсодержащих отвалов.

Литература

1. Яньшина, А.П. Особенности обжига гидроксида магния из рапы / А.П. Яньшина // *Огнеупоры*. – 1960. – № 11. – С. 505–515.
2. Воробьев, В.А. Производство минеральных вяжущих / В.А. Воробьев, В.С. Колокольников. – М.: Госстройиздат, 1960. – С. 304.
3. Зырянова, В.Н. Магнезиальные вяжущие вещества из высокомагнезиальных отходов / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2005. – № 10. – С. 46–53.
4. Черных, Т.Н. Магнезиальные вяжущие из бруситовой породы Кульдурского месторождения: дис. ... канд. техн. наук / Т.Н. Черных. – Челябинск, 2005.
5. Минеральные вяжущие на основе высокомагнезиального природного сырья / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, А.А. Орлов, Б.Я. Трофимов. – Челябинск: ООО «Искра-Профи», 2012. – 146 с.
6. Иннокентьева, Л.С. Легкие бетоны на основе магнезиального вяжущего вещества / Л.С. Иннокентьева, А.Д. Егорова, А.Г. Гермогенова // *Современные проблемы строительства и*

жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережения: сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Якутск, 27–28 окт.ября 2016 г. – 2016. – С. 186.

7. Лыткина, Е.В. Ксилолитовые и костролитовые строительные материалы с использованием композиционного магнезильного вяжущего, содержащего диабаз / Е.В. Лыткина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – № 9. – С. 26–29.

8. Соловьева, Т.В. Технология древесных композиционных материалов и изделий / Т.В. Соловьева, М.М. Ревяко, И.А. Хмызов. – Минск: БГТУ, 2008. – С. 177.

9. Averina, G.F. Unified assessment technique for magnesium production waste to be applied in construction / G. Averina, T. Cherhyh, L. Kramar // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – Т. 1800, № 1. – С. 020003.

10. Бирюлева, Д.К. Влияние продолжительности обжига доломита и структурных особенностей MgO и $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 8H_2O$ на проч-

ность и водостойкость доломитового цемента / Д.К. Бирюлева, Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 4. – С. 32–37.

11. Черных, Т.Н. Исследование влияния добавок-интенсификаторов на температуры обжига магнезильных горных пород / Т.Н. Черных, Г.Ф. Аверина // Строительство и экология: теория, практика, инновации. – 2015. – С. 187–191.

12. Августиник, А.И. Физико-химические процессы при обжиге доломит-серпентинитовой шихты для получения водоустойчивого доломитового клинкера / А.И. Августиник, П.Н. Бабин // Огнеупоры. – 1956. – № 7. – С. 322–326.

13. ГОСТ 6613-86. Сетки провололочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия (с Изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2006.

14. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с Изменениями № 1, 2). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1998.

15. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями № 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2006.

Аверина Галина Федоровна, аспирант кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), averinagf93@gmail.com

Зимич Вита Васильевна, доцент кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), zimichvv@susu.ru

Владимиров Константин Дмитриевич, аспирант кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kvlad74@gmail.com

Лазаревич Егор Владимирович, студент кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), lazarevich.e.95@mail.ru

Поступила в редакцию 15 марта 2018 г.

DOI: 10.14529/build180207

STUDY OF THE REFRACTORY AND MINING WASTE USABILITY TO PRODUCE MAGNESIUM CONCRETE

G.F. Averina, averinagf93@gmail.com

V.V. Zimich, zimichvv@susu.ru

K.D. Vladimirov, kvlad74@gmail.com

E.V. Lazarevich, lazarevich.e.95@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article explores the possibility of using waste dumps of OJSC Group Magnezit enterprise in Satka for production of magnesium concrete. The fractional and mineralogical composition of this type of waste has been established. Fractions suitable for use as coarse and fine aggregate have been grouped. The possibility of using fractions, which are not included in the category of aggregates as a raw material for obtaining a magnesia binder by the combined method, has been identified. A hypothesis has been put forward on the principle of the best joint work of the hydration products of magnesia binder and magnesium-containing aggregates in the composition of a concrete mixture due to the similar mineralogy of these components.

Keywords: magnesium oxychloride cement, magnesite, concrete, fractional composition, mineralogical composition, aggregates.

References

1. Yan'shina A.P. [Features of Roasting Magnesium Hydroxide from Brine]. *Ogneupory* [Refractories], 1960, no. 11, pp. 505–515 (in Russ.).
2. Vorob'ev V.A., Kolokol'nikov V.S. *Proizvodstvo mineral'nykh vyazhushchikh* [Production of Mineral Binders]. Moscow, Gosstrojizdat Publ., 1960. 304 p.
3. Zyryanova V.N., Berdov G.I. [Magnesium Cements from High-Magnesium Wastes], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Construction], 2005, no. 10, pp. 46–53 (in Russ.).
4. Chernykh T. N. *Magnezial'nye vyazhushchie iz brusitovoy porody Kul'durskogo mestorozhdeniya*. Dis. kand. tekhn. nauk [Magnesium Cements from Brucite Rocks of Kuldur Deposit. Cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2005. 158 p.
5. Kramar L.Ya., Chernykh T.N., Orlov A.A., Trofimov B.Ya. *Mineral'nye vyazhushchie na osnove vysokomagnezial'nogo prirodnogo syr'ya* [Mineral Cements on the Base of High-Magnesium Natural Raw]. Chelyabinsk, «Iskra-Profi» Publ., 2012. 146 p.
6. Innokent'eva L.S., Egorova A.D., Germogenova A.G. [Light concrete on the base of magnesium cement]. *Sovremennye problemy stroitel'stva i zhizneobespecheniya: bezopasnost', kachestvo, energo- i resursosberezheniya: sbornik statey IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu Inzhenerno-tekhnicheskogo instituta Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. MK Ammosova* [Contemporary Problems Of Construction and Life Support: Safety, Quality, Energy and Resource Saving. The Collection of Articles of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Engineering Technical Institute of the Northeastern Federal University]. Yakutsk, 2016, pp. 186–190 (in Russ.).
7. Lytkina E.V. [Xylolite and kostrolit building materials used composition magnesium cement]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Construction], 2010, no. 9, pp. 26–29 (in Russ.).
8. Solov'eva T.V., Revyako M.M., Khmyzov I.A. *Tekhnologiya drevesnykh kompozitsionnykh materialov i izdeliy* [Technology of Wood Composition Materials and Structures]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 177 p.
9. Averina G., Cherhyh T., Kramar L., Trofimov B. Unified Assessment Technique for Magnesium Production Waste to be Applied in Construction. *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1800, pp. 020003-1–020003-1. DOI: 10.1063/1.4973019.
10. Biryuleva D.K., Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z. [Influence of Continuous Roasting of Dolomite and Structure of Roasting MgO and $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 8H_2O$ on the Strength and Water Resistance of Dolomite Cement]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Construction], 2000, no. 4, pp. 32–37 (in Russ.).
11. Chernykh T.N., Averina G.F. [Investigation of Additive Influence on the Roasting of Rocks]. *Stroitel'stvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovatsii* [Construction and Ecology: Theory, Practice, Innovations], 2015, pp. 187–191 (in Russ.).
12. Avgustinik A.I., Babin P.N. [Physic and Chemistry Processes During the Roasting of Dolomite and Serpentine Raw for Water Resistance Dolomite Productions]. *Ogneupory* [Refractories], 1956, no. 7, pp. 322–326 (in Russ.).
13. *GOST 6613-86. Setki provolochnye tkanye s kvadratnymi yacheykami. Tekhnicheskie usloviya* [Square Meshed Woven Wire Cloths. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2006, p. 12.
14. *GOST 8269.0-97. Shcheben' i graviy iz plotnykh gornykh porod i otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitel'nykh robot. Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy* [Mauntainous Rock Road-Metal and Gravel, Industrial Waste Products for Construction Works. Methods of Physical and Mechanical Tests]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 1998. 57 p.
15. *GOST 8735-88. Pesok dlya stroitel'nykh robot. Metody ispytaniy* [Sand for Construction Work. Testing Methods]. Moscow, Standartinform publ., 2006. 28 p.

Received 15 March 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование возможности использования отходов огнеупорных и горнодобывающих производств для получения тяжелого магнезального бетона / Г.Ф. Аверина, В.В. Зимич, К.Д. Владимиров, Е.В. Лазаревич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 51–56. DOI: 10.14529/build180207

FOR CITATION

Averina G.F., Zimich V.V., Vladimirov K.D., Lazarevich E.V. Study of the Refractory and Mining Waste Usability to Produce Magnesium Concrete. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 2, pp. 51–56. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180207