

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 544.463

DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199



Оригинальная статья / Original article

**Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения  
бесцементного композиционного вяжущего**

**Е.В. Корнеева**

Сибирский государственный индустриальный университет,  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Россия

**Резюме. Цель.** Одним из перспективных направлений использования шлакового сырья в строительной индустрии является повышение его структурной нестабильности и активности с помощью механохимии. Статья посвящена изучению комбинированной активации выпускаемого (свежего) шлака сталеплавильного производства с целью создания эффективной технологии получения бесцементного шлакового вяжущего. **Метод.** В качестве сырья использовались сталеплавильные шлаки – энергонасыщенные крупнотоннажные отходы Западно-Сибирского металлургического комбината (г. Новокузнецк). В качестве активаторов – отходы угольной промышленности шахты «Абашевская» (г. Новокузнецк): горелые породы с терриконика и шламы, полученные нейтрализацией известью электролитов отработанных кислотных аккумуляторов, аккумуляторных батарей промышленного транспорта. Изучение термогравиметрических кривых сырьевых компонентов: «сталеплавильный шлак» и «горелая порода» до обработки показало характерные особенности и присущие для них экзотермические и эндотермические эффекты. **Результат.** Установлено влияние добавок-активаторов на физико-химические процессы при механохимической активации сталеплавильного шлака и основные структурообразующие факторы. **Вывод.** Создание композиционных вяжущих с использованием сталеплавильного шлака на сегодняшний день актуально в составе масштабной задачи строительно-технологической утилизации техногенных образований.

**Ключевые слова:** шлаковое сырье, механохимическая активация, дериватограмма, бесцементное вяжущее, матричная структура

**Для цитирования:** Е.В. Корнеева. Механохимическая активация сталеплавильного шлака для получения бесцементного композиционного вяжущего. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):193-199. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199

**Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain  
a cementless composite binder**

**E.V. Korneeva**

Siberian State Industrial University,  
42 Kirov Str., Novokuznetsk 654007, Russia

**Abstract. Objective.** One of the promising areas for the use of slag raw materials in the construction industry is to increase its structural instability and activity with the help of mechanochemistry. The article is devoted to the study of the combined activation of the produced (fresh) slag of steelmaking production in order to create an effective technology for obtaining cementless slag binder. **Method.** Steel slags were used as raw materials - energy-saturated large-tonnage waste of the West Siberian Metallurgical Plant (Novokuznetsk). As an activator waste from the coal industry of the «Abashevskaya» mine (Novokuznetsk): burnt rocks from waste heaps and sludge, obtained by lime neutralization of electrolytes of spent acid batteries, industrial transport batteries. The study of thermogravimetric curves of raw materials: "steel slag" and "burnt rock" before processing showed the characteristic features and their inherent exothermic and endothermic effects.

The effect of additives-activators on the physical and chemical processes during the mechanochemical activation of steel-smelting slag has been established and main structure-forming factors. **Result.** Based on the used mechanically activated slag raw materials, a cementless binder of a matrix structure was obtained. **Conclusion.** The creation of composite binders using steel-smelting slag is relevant today as part of a large-scale task of construction and technological utilization of technogenic formations.

**Keywords:** slag raw materials, mechanochemical activation, derivatogram, cementless binder, matrix structure.

**For citation:** E.V. Korneeva. Mechanochemical activation of steelmaking slag to obtain a cementless composite binder. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):193-199. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-193-199

**Введение.** В последние годы большое внимание уделяется разработке эффективных технологических процессов рациональной переработки шлакового сырья, одним из которых является механохимическая активация [1,2].

Метод механохимических воздействий с применением современных мельниц-активаторов является перспективным направлением для создания новых высокоэффективных и экологически чистых технологий в неорганическом синтезе для получения вяжущих материалов. Для эффективного его использования необходимы знания о механизмах физических и химических процессов, происходящих в механохимических реакторах. Известны примеры использования механической активации для получения вяжущих материалов [3-11].

При обработке материалов в аппаратах - активаторах, их активность повышается за счет создания высокой концентрации энергии в помольной камере и значительной энергии взаимодействия мелющего тела с частицами измельчаемого материала. Изменение кристаллической структуры с помощью механохимии повышает активность измельчаемого сырья: увеличивается число коагуляционных контактов разнородных частиц, ускоряется образование продуктов гидратации, повышается пластическая прочность твердеющей смеси [12].

**Постановка задачи.** Среди техногенного промышленного сырья, требующего комплексного подхода к использованию в технологиях создания различной строительной продукции сталеплавильные шлаки занимают особое место по сложности состава и структурным особенностям. Эти шлаки имеют микропорфированную структуру, состоящую из двухкальциевого силиката, алюмосиликата, монтичеллита, периклаза, и других минералов. Химический состав электросталеплавильного шлака Западно-Сибирского металлургического комбината города Новокузнецка Кемеровской области приведен в табл. 1.

**Таблица 1. Химический состав электросталеплавильного шлака**  
**Table 1. Chemical composition of electric furnace slag**

Наименование оксидов Name oxides	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	в т.ч. CaO <sub>своб.</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Массовая доля, % Mass fraction	26,63	5,33	-	0,95	0,37	55,55	0,71	9,68	-	-	-	1,41	0,03	0,05

По химическому составу эти шлаки основные. Основность электросталеплавильных шлаков первичных — 1,6 - 2,4; конечных — 1,7 - 3,0. При выборе добавки-активатора для проектирования вяжущей смеси рассматривались различные «кислые» крупнотоннажные отходы промышленных предприятий Кузбасса: микрокремнезём (ультрадисперсный отход производства кристаллического кремния), каменноугольная зола (ультрадисперсный отход

ТЭС) и горелая порода шахтных отвалов. Все перечисленные техногенные продукты способны повысить активность шлака [13, 14].

**Методы исследования.** Выбор горелой породы, как компонента вяжущего, был обусловлен не только повышенной физико-химической активностью [15, 16], но и экономической целесообразностью ее переработки и использования, так как в настоящее время утилизация горелых пород, скопившихся в огромных объемах на территории угледобывающих предприятий региона, является актуальной. В местах размещения терриконов происходит изменение ландшафта, а в теле терриконов замедляются процессы почвообразования. Являясь эффективным сырьём для производства различных строительных материалов, горелые породы могут быть применены в качестве кремнезёмистой составляющей вяжущего. Горелая порода входит в группу гидравлических веществ глинистого характера и по содержанию доломитов, известняков и глинистых примесей схожа с золой [17, 18]. Химический анализ горелых пород терриконика шахты «Абашевская» показал, что они относятся к группе «ультракислых», поскольку содержат повышенное количество  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $K_{\text{очн.}} = 0,1$  (табл. 2).

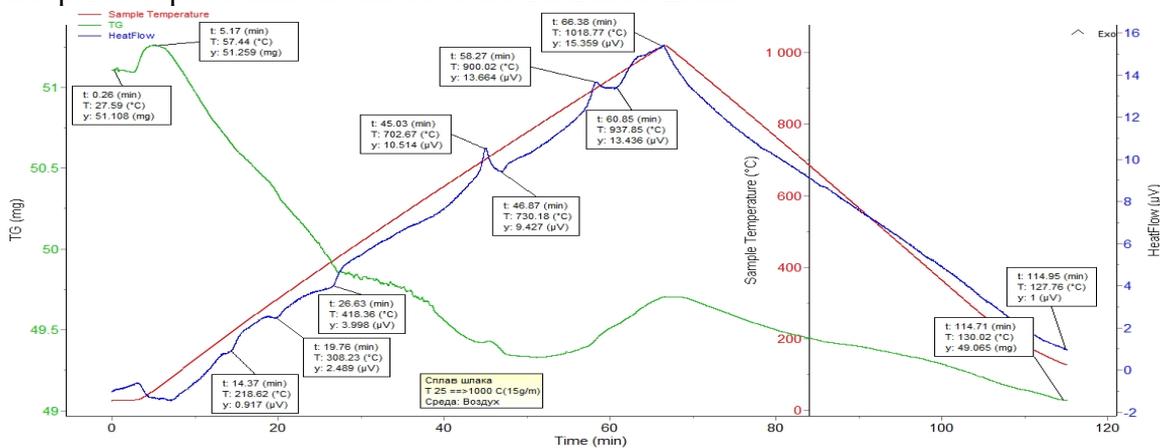
**Таблица 2. Химический состав горелых пород**  
**Table 2. Chemical composition of burnt rocks**

Наименование оксидов Name of oxides	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MnO}$	$\text{CaO}$	В т.ч. $\text{CaO}_{\text{своб.}}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
Массовая доля, % Mass fraction	49,18	17,62	6,52	1,66	0,24	3,79	0,65	7,61	0,81	1,27	0,07	11,23

Для использования в качестве среды для диспергирования использован шлак, полученный нейтрализацией известью электролита отработанных тяговых кислотных аккумуляторов электродвигателей специальных видов транспорта предприятия: электровозов, электрокар, автопогрузчиков, электротягачей и бульдозеров с плотностью 1,15 - 1,30 г/см<sup>3</sup>, содержащие 26-31% сульфат-ионов.

Шлак представляет собой обводненный гель, обладающий высокой пластичностью и имеет в своем составе легкорастворимую соль амфотерного металла - свинца с серной кислотой, чем объясняется наличие в нём сульфатов этого металла. Переработка сырьевых компонентов проводилась с использованием дезинтегратора мокрого помола ГОРИЗОНТ-3000 МК-ВА (частота вращения – 3000 об/мин).

Для объяснения фазовых трансформаций механоактивированной системы были изучены термогравиметрические кривые сырьевых компонентов: «сталеплавильный шлак» и «горелая порода» до обработки, для выявления характерных особенностей и присущих для них экзотермических и эндотермических эффектов. На рис. 1 представлен дифференциальный термогравиметрический анализ сталеплавильного шлака.



**Рис. 1. ДТА сталеплавильного шлака до обработки**  
**Fig. 1. DTA of steelmaking slag before processing**

Дериватограмма шлака характеризуется наличием на фоне эндотермических эффектов (218°, 308°, 418°, 730° и 937°C) экзотермических пиков при температурах 702° и 900°C. При температуре 218°C происходит удаление влаги из шлака. В интервале температур 700-900°C отмечается переход одной модификации кальциооливина (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>): при температуре 730°C нестабилизированная фаза γ-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> переходит в β'-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, при дальнейшем увеличении температуры (~900°C) β'-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> переходит в силикатную фазу β-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. Кальциооливин Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (силикат дикальция) основной компонент минерала белита, является стабильным, и образовался из реакционноспособного CaO и SiO<sub>2</sub> при 300°C. Нестабилизированная фаза γ-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> не гидратируется, и при производстве вяжущих не используется. Однако при повышении температуры нестабилизированная фаза γ-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> прошла через несколько полиморфных состояний с образованием моноклинной силикатной фазы β-Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. Дифференциальный термогравиметрический анализ горелых пород (рис.2) позволил не только установить ее термическую инертность (полноту прошедшего самообжига), но и уточнить минералогический состав.

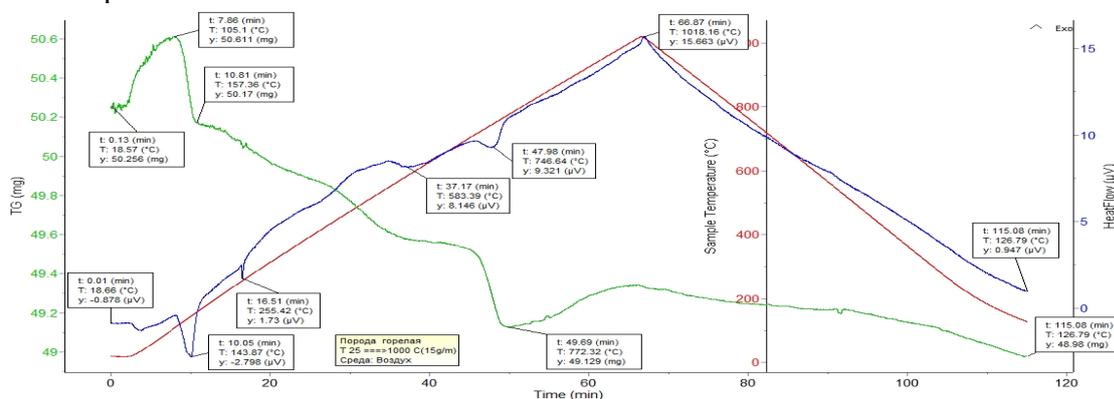


Рис. 2. ДТА горелой породы до обработки  
 Fig. 2. DTA of burnt rock before processing

На дериватограмме горелой породы видны несколько эндотермических эффектов. Первый при температуре от 110-120° С до 180°C соответствует удалению адсорбционной влаги из породы. Максимум испарения при 143°C. При температуре 255°C отмечается разложение тонкодисперсного гетита (FeOОН), содержащегося в виде включений в кристаллах кварца. В интервале температур 500-800°C идет разложение карбонатов сидерита и доломита, о чем свидетельствуют изменения на кривой изменения массы.

Доломит - двойная углекислая соль кальция и магния, один из главных минералов, слагающих карбонатные породы. Кристаллическая структура железистой минеральной смеси - сидерит среди карбонатов отличается высокой плотностью и твердостью. Подвергаясь термической диссоциации, частично взаимодействует с глинистой частью породы.

**Обсуждение результатов.** Показателем активности вяжущего является дефектность структуры его минералов. Поэтому механохимическая активация шлака позволяет за счет накопления на поверхности частиц различного рода дефектов изменить его химическую активность. В процессе механохимической активации смеси возможен синтез минералов, обладающих гидратационной активностью.

Смещение пиков экзо- и эндотермических эффектов в сторону более высоких температур зафиксированное на термограмме вяжущего (рис. 3) говорит о том, что механохимическая активация смеси способствовала упрочнению его структуры. Такие эффекты обнаруживаются на гравиметрической кривой, где отмечены большие потери массы по сравнению с кривыми сырьевых компонентов. Дериватограмма вяжущего позволила установить наличие гидратных новообразований (эндотермический эффект при 138,97-161,12°C): ступенчатая дегидратация гидрата сульфата кальция (CaSO<sub>4</sub>×2H<sub>2</sub>O) до полугидрата (CaSO<sub>4</sub>×0,5H<sub>2</sub>O). Отмечено также проявление эндотермического эффекта при 275,72°C, который отражает эндотермическую реакцию их обезвоживания и дегидратацию полугидрата (CaSO<sub>4</sub>×0,5H<sub>2</sub>O) до ангидрита (CaSO<sub>4</sub>).

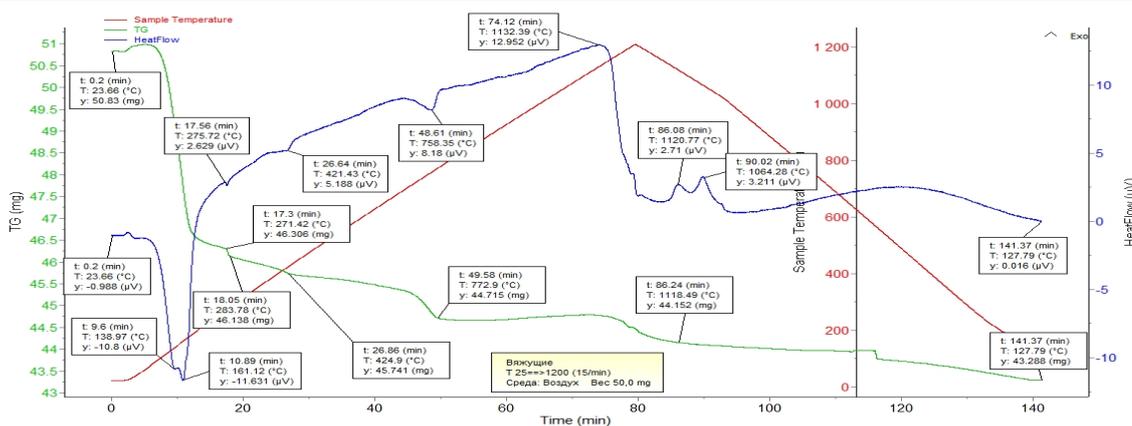


Рис. 3. ДТА вяжущего  
 Fig. 3. DTA binder

Ступенчатая дегидратация гидрата сульфата кальция свидетельствует об изменениях в решетке. В результате термического превращения двухводного гипса в полугидрат кристаллическая решетка перестраивается. При удалении молекул воды происходит разрыв связей ионов  $Ca^{2+}$  и  $Ca^{2-}$  с молекулами  $H_2O$  что подтверждает потеря массы, обусловленная дегидратацией. Общая потеря массы составила 17,4% что свидетельствует о значительном содержании воды в структуре материала и изменение потери массы в ходе эндотермических реакций. При удалении воды из двуhydrата  $CaSO_4$  в капельно-жидком состоянии образовался  $\alpha$ - $CaSO_4 \times 2H_2O$ . Вяжущие на основе  $\alpha$ -полугидрата  $CaSO_4$  имеют малую водопотребность, медленнее гидратируются, характеризуются малой пористостью и повышенными значениями прочностных свойств.

В интервале 421,43-758,35<sup>0</sup>C отмечена дегидратация этtringита, до десульфатизации при 1132<sup>0</sup>C. Фазы гидрата сульфата кальция и этtringита содержат значительное количество кристаллизационной  $H_2O$  – (20,91%) и (45,91%) – соответственно, а так как кристаллизационная  $H_2O$  удаляется при строго определенных температурах, с помощью комплексного термического анализа в исследуемых образцах вяжущего определено содержание гидрата сульфата кальция и этtringита.

Расчетные значения по данным ДТА составляют: гипс – 44,1%; этtringит – 9,2%. Пересчет химического анализа на минеральный состав по потерям массы при прокаливании (Ппп) дает следующие значения: гипс – 52,6%; этtringит – 8,0%. Химический анализ шлакового вяжущего представлен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав шлакового вяжущего  
 Table 3. Chemical composition of slag binder

Наименование оксидов Name of oxides	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	П.п.п.
Массовая доля, % Mass fraction	10,79	23,69	5,69	0,61	0,74	37,80	6,31	0,36	0,76	13,25

Установлено, что вяжущие свойства механоактивированного композиционного состава на основе сталеплавильного сырья обусловлены присутствием новообразований силикатов кальция: высоким содержанием гидрата сульфата кальция ( $CaSO_4 \times 2H_2O$  до 60%); гидросульфатоалюмината кальция и ортосиликата кальция ( $(Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \times 26H_2O$  и  $Ca_2SiO_4$  10-15%); а также минералов кварца и оксида магния (SiO<sub>2</sub>, MgO 3-5%).

Бесцементное композиционное вяжущее на основе механоактивированных шлаков сталеплавильного производства имеет матричную микроструктуру, дисперсионная среда которой состоит из плотных мелкозернистых масс гидрата сульфата кальция. Твердая дисперсная фаза образована пластинчатыми кристаллами кварца и оксида магния, и трубчаты-

ми кристаллами ортосиликата кальция. Переходный межфазный слой сформирован из структурированных зерен гидросульфатоалюмината кальция [19].

**Вывод.** Обоснована целесообразность механохимической активации низкоактивного шлакового сырья и влияние добавок-активаторов на повышение его структурной нестабильности и активности. В качестве добавок-активаторов, использованы отходы угольной промышленности шахты «Абашевская» - горелые породы с терриконика и шламы, полученные нейтрализацией известью электролитов отработанных кислотных аккумуляторов: электровозов, электрокар, автопогрузчиков, электротягачей и бульдозеров автотранспорта предприятия. Определены фазовые трансформации оксидных систем и основные структурообразующие факторы при формировании матричной структуры вяжущего.

#### Библиографический список:

1. Алфимова Н.И., Калатоzi В.В., Карацупа С.В., Вишневская Я.Ю., Шейченко М.С. Механоактивация как способ повышения эффективности использования сырья различного генезиса в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 85-89.
2. Зимакова Г.А., Солонина В.А., Илясова С.В., Ашуров М.А. Активация металлургического отвального шлака // Инновации и инвестиции. 2019. № 10. С. 280-284.
3. Андрюшкова О.В., Полубояров В.А., Паули И.А., Коротаева З.А. Механохимия создания материалов с заданными свойствами. Новосибирск: НГТУ. 2010. 352 с.
4. Fedorov P., Sinitsin D. Alkali-Activated Binder Based on Cupola Dust of Mineral Wool Production with Mechanical Activation // *Buildings*. 2022. No. 12(10), pp. 1565; DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101565>.
5. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. // *AIMS Materials Science*. 2018. Vol.5, Issue 5. pp. 916–931. DOI: 10.3934/matricsci.2018.5.916
6. Лапшин О.В., Болдырева Е.В., Болдырев В.В. Роль смешения и диспергирования в механохимическом синтезе (обзор) // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 6. № 3. С. 402–424. DOI: 10.31857/S0044457X21030119
7. Федюк Р. С., Мочалов А. В., Лесовик В. С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2018. № 4 (37). С. 85-99.
8. Абрамов М.А., Степанов Е.Г., Качалов Д.В., Мурашов А.О. Механохимическая технология эффективного использования вторичного техногенного сырья // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2021. № 1 (56) С. 84-89.
9. Голик В.И., Алексеев И.А. Механохимическая активация хвостов обогащения для использования в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 5-1. С. 5–16.
10. Голик В.И., Титова А.В. Комбинированные технологии активации минерального сырья // Горная промышленность. 2021. № 5. С.100–105. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105
11. Сучков В.П., Веселов А.В. Механохимическая активация природного и техногенного сырья при производстве высокопрочного гипса // Технологии бетонов. 2021. № 6 (179). С. 71-77.
12. Теоретические основы и технологические аспекты создания нового нанодисперсного силикатного вяжущего из вторичных минеральных ресурсов с использованием механохимии: монография / С.И. Павленко, М.В. Луханин, Е.Г. Аввакумов, Е.В. Корнеева. Новосибирск: СО РАН. 2013. 106 с.
13. Способ получения вяжущего для бетонов и строительных растворов: патент 2664567 Рос. Федерация. № 2017132779 / Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. заявл. 19.09.2017. опублик. 21.08.2018.
14. Земляной К.Г., Кормина И.В., Павлова И.А. Сравнительные характеристики кремнезема различных производителей // Новые огнеупоры. 2018. № 1. С. 8-17.
15. Сапелкина Т.В., Кара-сал Б.К., Стрельников А.Н. Получение силикатного стенового материала на основе вскрышной горелой породы угледобычи на примере месторождений республики Тыва // Успехи современного естествознания. 2019. № 8. С. 67-72.
16. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Материалы из горелых пород для бетонной шахтной крепи // Инноватика и экспертиза. 2022. Вып. 1 (33). С. 106-114.
17. Абдрахимова Е.С. Использование отходов топливно-энергетического комплекса – горелых пород и отходов обогащения хромитовых руд в производстве пористых заполнителей на основе жидкостекольной композиции // Уголь. 2019. № 7. С. 67–69.
18. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Использование техногенного сырья в технологии керамического кирпича // Инноватика и экспертиза. 2020. Вып. 2 (30). С.160-169.
19. Корнеева Е.В., Бердов Г.И., Созинов С.А. Особенности формирования структуры бесцементного матричного композита на основе механоактивированного техногенного сырья // *Construction and Geotechnics*. 2020. Т. 11. № 1. С. 102-114.

20. Бесцементное вяжущее: патент 2542074 Рос. Федерация. № 2014106301/03 / Корнеева Е.В. заявл. 19.02.2014. опублик. 20.02.2015. Бюл. № 5.4с.

#### References

1. Alfimova N.I., Kalatosi V.V., Karatsupa S.V., Vishnevskaya Y.Yu., Sheichenko M.S. Mechanical activation as a way to increase the efficiency of the use of raw materials of different genesis in construction materials science. *Bulletin of V.G. Shukhova BSTU*. 2016; 6, 85-89. (In Russ).
2. Zimakova G.A., Solonina V.A., Ilyasova S.V., Ashurov M.A. Activation of metallurgical dump slag. *Innovation and Investment*. 2019; 10: 280-284. (In Russ).
3. Mechanochemistry of creating materials with specified properties / O.V. Andryushkova, V.A. Poluboyarov, I.A.Pauli, Z.A. Korotaeva. – Novosibirsk: NGTU, 2010; 352. (In Russ).
4. Fedorov P., Sinitin D. Alkali-Activated Binder Based on Cupola Dust of Mineral Wool Production with Mechanical Activation. *Buildings*. 2022, 12(10): 1565. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101565>
5. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. *AIMS Materials Science*, 2018; 5 (5): 916–931. DOI: 10.3934/matricsci.2018.5.916
6. Lapshin O.V., Boldyreva E.V., Boldyrev V.V. Role of mixing and dispersion in mechanochemical synthesis (overview). *Journal of Inorganic Chemistry*. 2021; 6 (3): 402–424. (In Russ). DOI: 10.31857/S0044457X21030119
7. Fedyuk R. S., Mochalov A. V., Lesovik V. S. Modern methods of activating binder and concrete mixtures (overview). *Bulletin of the FEFU School of Engineering*. 2018; 4 (37):85-99. (In Russ)
8. Abramov M.A., Stepanov E.G., Kachalov D.V., Murashov A.O. Mechanochemical technology of efficient use of secondary technogenic raw materials. *Bulletin of the RGAT named after P. A. Solov'yov* 2021; 1 (56): 84-89. (In Russ).
9. Golik V.I., Alekseev I.A. Mechanochemical activation of enrichment tailings for use as components of hardeningfilling mixtures. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 5-1: 5–16. (In Russ).
10. Golik V.I., Titova A.V. Combined technologies for activation of mineral raw materials. *Mining industry*. 2021; 5: 100–105. (In Russ). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-100-105
11. Suchkov V.P., Veselov A.V. Mechanochemical activation of natural and man-made raw materials in the production of high-strength gypsum. *Concrete technologies*. 2021; 6 (179): 71-77. (In Russ).
12. Theoretical foundations and technological aspects of creating a new nanodispersed silicate binder from secondary mineral resources using mechanochemistry / S.I. Pavlenko, M.V. Lukhanin, E.G. Avvakumov, E.V. Korneeva. – Novosibirsk: CO RAN, 2013; 106. (In Russ).
13. Method for preparing binder for concretes and mortars: Patent 2664567 Russian Federation. № 2017132779 / Buravchuk N.I., Gurtyanova O.V. application. 19.09.2017. publ. 21.08.2018. (In Russ).
14. Zemlyanoy K.G., Kormina I.V., Pavlova I.A. Comparative characteristics of silica of various manufacturers. *New refractories*. 2018; 1: 8-17. (In Russ).
15. Sapelkina T.V., Kara-sal B.K., Strelnikov A.N. Production of silicate wall material based on flared coal mining rock using the example of deposits of the Republic of Tuva. *The successes of modern natural science*. 2019; 8: 67-72. (In Russ).
16. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Materials from burnt rocks for concrete mine support. *Innovation and expertise*. 2022; 1 (33):106-114. (In Russ).
17. Abdrakhimova E.S. Use of fuel and energy complex wastes - burnt rocks and chromite ore enrichment wastes in production of porous aggregates based on liquid-glass composition. *Coal*. 2019; 7: 67–69. (In Russ).
18. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Use of technogenic raw materials in ceramic brick technology. *Innovation and expertise*. 2020; 2 (30): 160-169. (In Russ).
19. Korneeva E.V., Berdov G.I., Sozinov S.A. Features of formation of the cement-free matrix composite structure based on mechanically activated technogenic raw materials. *Construction and Geotechnics*. 2020; 11 (1): 102-114. (In Russ).
20. Cement-free binder: Patent 2542074 Russian Federation. № 2014106301/03 / Korneeva E.V. application. 19.02.2014. publ. 20.02.2015; 5. (In Russ).

#### Сведения об авторе:

Корнеева Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерных конструкций, строительных технологий и материалов; [hellen-box-8@yandex.ru](mailto:hellen-box-8@yandex.ru)

#### Information about author:

Elena V. Korneeva, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Assoc.Prof., Department of Engineering structures, construction technologies and materials; [hellen-box-8@yandex.ru](mailto:hellen-box-8@yandex.ru)

#### Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 26.11.2023.

Одобрена после рецензирования / Revised 30.12.2023.

Принята в печать /Accepted for publication 30.12.2023.