

УДК 504.064.45

*к.т.н. Левченко Э. П.,  
д.т.н. Вишневский Д. А.,  
к.э.н Зинченко А. М.,  
к.т.н. Левченко О. А.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

*Работа посвящена решению проблемы измельчения металлургических отходов в дробильно-измельчительных машинах комбинированного действия с целью их последующего использования. Представлены возможности измельчения огнеупоров, шлака и бетонного лома.*

*Ключевые слова:* дробильно-измельчительные машины, комбинированное действие, металлургические отходы, огнеупоры, шлак, отходы бетона.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Промышленная деятельность металлургических предприятий, связанных с плавкой металлов и выпуском готовой продукции, традиционно сопряжена с накоплением значительной массы отходов, требующих дальнейшей переработки [1]. По объемам накопления в первую очередь заслуживают внимания металлургические шлаки, отслужившие свой срок огнеупоры и бетонная масса, образуемая при ремонтах и реконструкции предприятий.

В частности, при проведении различных ремонтов и своевременном обслуживании металлургических агрегатов на Филиале № 1 Южного горно-металлургического комплекса «Алчевский металлургический комбинат» ежегодно требуется около 28000 тонн огнеупорных магнезитовых, хромомагнезитовых и шамотных порошков. Различные цеха, как основные потребители огнеупорных порошков, нуждаются в порошках магнезитовой группы в количестве от 15000 до 16000 тонн в год, которые необходимы для текущих ремонтов (торкретирования) и капитальных ремонтов печей, закрытия шлаковых и чугунных лётков и т. д.

В текущем производстве на предприятии накапливается около 30000 тонн огнеупорного лома, из которого около 1/3 подвергается повторному использованию

и утилизации, а 2/3 некондиционного огнеупорного лома, составляющего от 18000 до 20000 тонн в год, может подвергаться помолу на порошки. Недостаток огнеупорных порошков при норме 10 кг на тонну стали составляет около 50 %.

Пока ещё основная масса таких отходов накапливается в значительных количествах в отвалах, однако при правильном подходе можно предложить рациональные условия их переработки и вторичного использования [2, 3].

**Целью работы** является изучение возможностей переработки металлургических отходов в дробильно-измельчительных машинах комбинированного действия.

**Объектом исследования** является возможность создания условий переработки металлургических отходов.

**Предмет исследования** — особенности фракционной подготовки отходов в дробильно-измельчительных машинах комбинированного действия, обеспечивающих рациональные условия получения мелких фракций.

**Задачи исследования** — анализ возможностей диспергирования огнеупорного кирпича, шлака и бетона и создание рекомендаций для их последующего использования.

**Методика исследований.** Экспериментальные методы изучения измельчаемости

металлургических отходов и обоснование рецептуры бетонных смесей на их основе.

**Изложение материала.** Для поиска рациональных решений по измельчению материалов были созданы экспериментальная модель, а также опытный и промышленный образец дробильно-измельчительной машины (ДИМ), комбинирующих усилий среза на этапе дробления с последующим истиранием на стадии измельчения [4].

Для организации и проведения поискового эксперимента по изучению возможности получения мелких фракций был разработан и создан экспериментальный образец режуще-истирательной ДИМ (рис. 1).

Результаты помола хроммагнезита на ДИМ-250 показаны в таблице 1, где в качестве исходного материала применялись фракции боя кирпича в диапазоне от 15 до 25 мм.

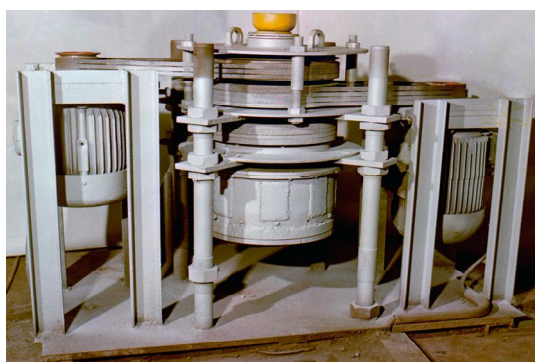


Рисунок 1 Экспериментальный образец ДИМ-250

Гранулометрические характеристики измельченных в процессе испытаний материалов (огнеупорного порошка) и их химический состав представлены в таблице 2.

Для выявления возможностей переработки сырья в реальном производстве был разработан и изготовлен опытный образец ДИМ-1800, отличающийся повышенными габаритами и мощностью двигателя, что было вызвано необходимостью организации измельчения огнеупорного сырья в виде боя и отходов шамотного и хромомagneзитового кирпича. Фракционный состав полученного шамотного и хромомagneзитового порошка представлен в таблице 3, а нормируемые требования — в таблице 4.

Испытания опытного образца ДИМ-1800 показали, что машина обладает такими параметрами:

- производительность по лому шамотного кирпича — 5,6 т/ч;
- удельные энергозатраты по лому шамотного кирпича — 5,0 кВтч/т;
- производительность по лому хромомagneзитового кирпича — 7,8 т/ч;
- удельные энергозатраты по лому хромомagneзитового кирпича — 5,1 кВтч/т.

Производственные испытания выявили способность промышленного образца ДИМ-2250 (рис. 2) с диаметром рабочих дисков 2250 мм, изготовленных из стали 40Г2, перерабатывать отходы огнеупорного кирпича (рис. 3).

Таблица 1

Результаты измельчения отходов огнеупоров в лабораторной мельнице ДИМ-250

| Размер отверстий сит, мм | Остаток на сите, % | Удельные энергозатраты, кВтч/кг |
|--------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1,250                    | 0,0                | 0,034                           |
| 1,000                    | 6,9                |                                 |
| 0,630                    | 9,7                |                                 |
| 0,200                    | 30,0               |                                 |
| 0,090                    | 29,0               |                                 |
| 0,063                    | 12,0               |                                 |
| 0,000                    | 12,4               |                                 |
| Производительность, кг/ч | 159,0              |                                 |

Таблица 2

Результаты химического анализа готового продукта

| Материал            | MO        | CaO     | O <sub>2</sub> | Фракция, мм |
|---------------------|-----------|---------|----------------|-------------|
| ППМ-85 (г. Сатка)*  | 88,6      | 6,5     | 3,17           | 1–8         |
| Собственного помола | 90,2–90,8 | 2,7–3,8 | 1,8–2,1        | 1–10        |

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

*Таблица 3*  
Фракционный состав порошков  
после ДИМ-1800

| Номер сита | Шамотный порошок, % | Хромомагнетитовый порошок, % |
|------------|---------------------|------------------------------|
| 6,0        | -                   | -                            |
| 5,0        | 100                 | 100                          |
| 3,15       | 99,5                | 99,9                         |
| 2,5        | 97,2                | 98,9                         |
| 1,25       | 82,6                | 79,4                         |
| 0,5        | 71,6                | 65,7                         |
| 0,315      | 52,5                | 49,6                         |
| 0,25       | 44,8                | 45,4                         |
| 0,09       | 17,0                | 9,4                          |
| 0,05       | 4,6                 | 8,7                          |



Рисунок 3 Отходы огнеупорного кирпича

*Таблица 4*  
Требования к крупности порошков

| Размер сита, мм | Шамотный порошок, % | Хромомагнетитовый порошок, % |
|-----------------|---------------------|------------------------------|
| 8,0             | не менее 100        | не нормируется               |
| 6,0             | не нормируется      | не нормируется               |
| 3,0             | 70–80               | 100                          |
| 2,0             | не нормируется      | не более 5                   |
| 0,5             | 30–50               | не менее 60                  |
| 0,009           | 27–40               | не нормируется               |

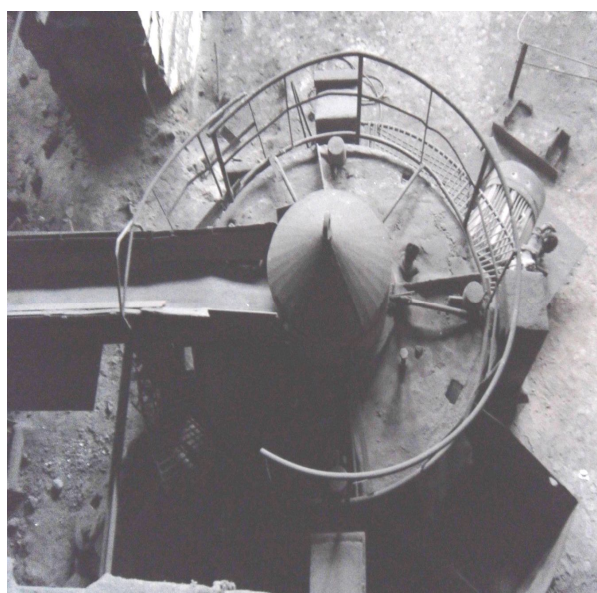


Рисунок 2 Вид сверху на ДИМ-2250

В течение года ДИМ-2250 при одно-сменной работе и обслуживании двумя операторами перерабатывает в порошки более 5000 тонн хромомагнетитового, магнетитового и шамотного лома при степени измельчения, достигающей 60. За это время было заменено два комплекта рабочих дисков. В качестве исходного сырья используется хромомагнетит крупностью 130–460 мм. Гранулометрический состав готового продукта и удельные энергозатраты при измельчении показаны в таблице 5.

*Таблица 5*  
Результаты испытаний промышленного образца ДИМ-2250

| Размер отверстий сит, мм | Хромомагнетит      |                                |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|
|                          | Остаток на сите, % | Удельные энергозатраты, кВтч/т |
| 6,0                      | 6,7                | 8,7                            |
| 3,15                     | 11,2               |                                |
| 3,0                      | 3,1                |                                |
| 2,5                      | 7,2                |                                |
| 1,25                     | 2,6                |                                |
| 1,0                      | 4,3                |                                |
| 0,63                     | 0                  |                                |
| 0,5                      | 26,3               |                                |
| 0,315                    | 17,2               |                                |
| 0,1                      | 12,3               |                                |
| 0,063                    | 9,1                |                                |
| Производительность, кг/ч | 159,0              |                                |

В виде рабочих органов выступают два фигурных диска, один из которых имеет возможность вращения, а второй — возможность перемещения в вертикальной плоскости, тем самым обеспечивая регулирование необходимого зазора для обеспечения требуемой крупности готового продукта. Диспергирование материала при этом осуществляется в вертикальной (путём среза) и горизонтальной плоскостях (путём истирания).

Дозированная непрерывная загрузка машины обеспечивает её устойчивую работоспособность при стабильном выходе фракций измельчённого материала, а также возможность запуска «под завалом» и повторно-го запуска при непредвиденных остановках.

В соответствии с экспериментальными исследованиями и лабораторным анализом полученных проб готового продукта полученные при переработке отходов производства с помощью ДИМ-2250 порошки соответствуют нормативным требованиям (табл. 6) и могут применяться во всех технологических операциях.

Результаты ситового анализа продуктов помола железной руды, металлургического известняка, отвального шлака, отходов бетона при частоте вращения рабочих органов (сталь 110 Г13Л) 400 об/мин и различных размерах щелевого зазора (1, 3, 6 мм) приведены на рисунке 4.

Переработка и использование металлургических шлаков является актуальной задачей [5]. Наиболее эффективный путь использования шлаков — переработка их в строительные материалы.

Таблица 6  
Содержание химических веществ в огнеупорном порошке

| Вещество  | Содержание химических веществ в огнеупорном порошке, % |                  |
|-----------|--|------------------|
|           | после помола на установке ДИМ-2250                     | по ГОСТ 24862-81 |
| $MgO$     | 90,5   | не более 85 %    |
| $CaO$     | 3,85   | не более 8       |
| $SiO_2$   | 1,8  | не более 4,5     |
| $Cr_2O_3$ | 0,8  | -                |

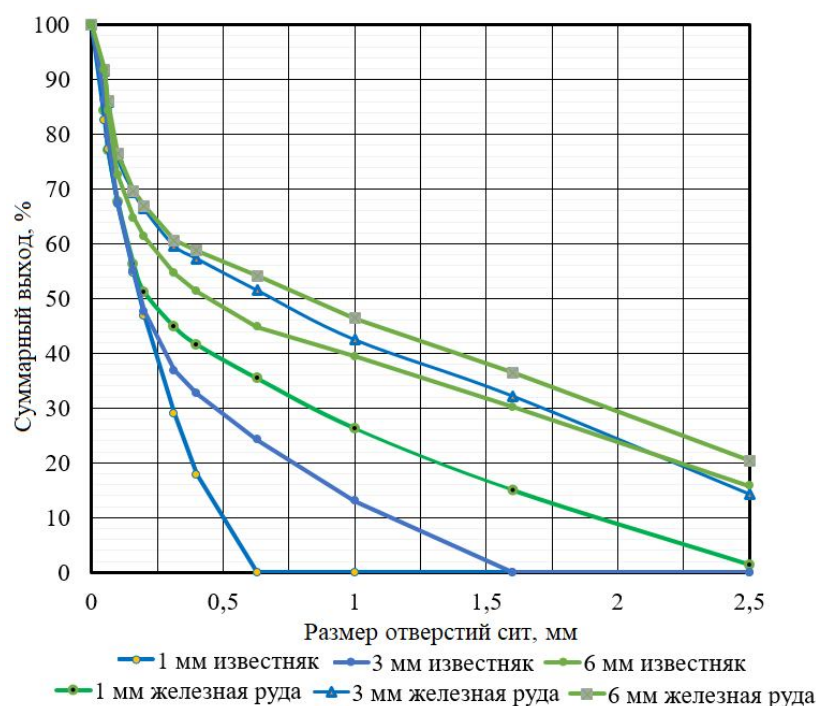


Рисунок 4 Результаты ситового анализа продуктов помола железной руды рабочими органами с различным щелевым зазором

В настоящее время в связи с необходимостью увеличения масштабов строительства и утилизации разрушенных зданий, получение такого материала становится особенно востребованным [6, 7].

Современное металлургическое производство, несмотря на применение совершенных технологий, новейших агрегатов, неизбежно сопровождается образованием миллионов тонн различных отходов, к числу которых относятся доменные и сталеплавильные шлаки и другие отходы.

Полное и рациональное использование отходов и побочной продукции позволяет создать в металлургии комплексное, высококомбинированное производство. Возникает проблема совершенствования производства с точки зрения полного использования всей массы добываемого сырья и прекращения загрязнения среды. Целесообразность создания и развития малоотходной и безотходной технологии с использованием металлургических шлаков, отходов бетона и других отходов приводит к повышению эффективности производства.

Шлаки являются побочным продуктом металлургического производства и должны максимально использоваться в народном хозяйстве. Они являются ценным сырьём для производства широкого ассортимента материалов для промышленности, жилищного и дорожного строительства. Известно, что продукция, получаемая из шлаков, по своим физико-механическим свойствам не только не уступает, но во многих случаях и превосходит качество заменяемых ее природных материалов.

Шлаки являются основным продуктом при производстве черных металлов. Они составляют 70–80 % всех отходов выплавки чугуна и стали. Полная их переработка в решающей степени определяет безотходное производство чугуна и стали и позволяет избежать потерь металла со шлаками. Поэтому вопросы развития и повышения экономической эффективности шлакоперерабатывающего передела весьма актуальны.

Прежде чем производить расчет состава бетона, требуется выбрать марку цемента и исследовать заполнители: песок, гравий, щебень, а также воду. В качестве добавок могут применяться молотый кварцевый песок, каменная мука из графита, плотного известняка и др.

Эти добавки должны быть доступными местными материалами с тонкостью помола, приближающейся к тонкости помола цемента, быть чистыми и не содержать вредных для цемента примесей. Такими добавками могут служить отвальные шлаки и шлаки текущего выхода филиала № 1 Южного горно-металлургического комплекса «Алчевский металлургический комбинат» (г. Алчевск) и отходы бетона.

Правильное определение состава бетона имеет большое технико-экономическое значение. Задача состоит в определении экономически оптимального состава, обеспечивающего получение нужных технических свойств бетонной смеси (жёсткости и подвижности) и проектных характеристик бетона.

Определение состава бетона производят обычно расчётно-экспериментальным методом, который предусматривает предварительный расчёт состава по формулам и последующую экспериментальную проверку и уточнение состава с помощью пробного замеса [8].

Для экономии цемента, кварцевого песка и снижения себестоимости выпускаемой продукции предлагается в качестве добавки в бетонную смесь молотый отвальный шлак и отходы бетона.

Шлак и отходы бетона предварительно дробились на щековой дробилке до фракции 10–20 мм, а затем в ДИМ комбинированного действия при щелевом зазоре 1 мм. Измельчённый отвальный шлак и отходы бетона вводились в бетонную смесь в качестве заменителя связующего, т. е. цемента. Результаты ситового анализа помола отвального шлака и отходов бетона приведены на рисунке 5.

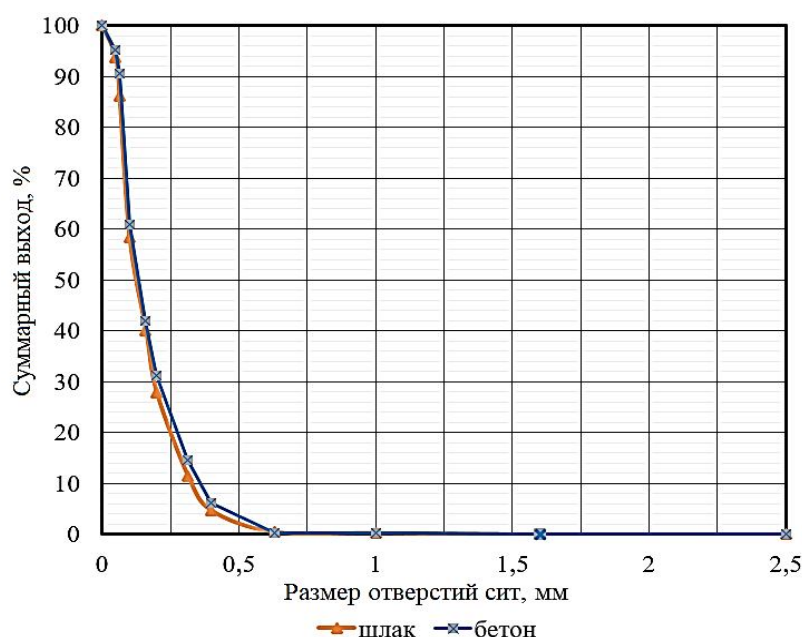


Рисунок 5 Результаты ситового анализа помолотого отвалного шлака и отходов бетона в ДИМ комбинированного действия при щелевом зазоре 1 мм

Для их использования в производстве в лабораторных условиях проведены эксперименты по изготовлению бетонной смеси с добавкой отвалного шлака и отходов бетона тонкого помола.

Определение механических свойств бетона с добавками отвалного шлака и отходов бетона производилось на образцах, изготовленных из бетонной смеси следующего состава:

- цемент Балаклеевского цементно-шиферного комбината марки 400;
- щебень Бугаёвского карьера М 400, фракция 5–20;
- песок Ново-Кондрашовский  $M_{кр} = 1,1$ , где  $M_{кр}$  — модуль крупности;
- вода;
- отвалный шлак или отходы бетона.

Для определения отпускной прочности в лабораторных условиях все образцы проходили пропаривание по режиму:

- выдержка после формовки в течение 2-х часов;
- подъем температуры до заданной в течение 3-х часов;
- выдержка образцов при температуре 70 °С в течение 8-ми часов;

– остывание в течение 3-х часов.

Для сравнения механических свойств опытных образцов с производственными приготавливался контрольный замес состава:

- цемент 320 кг;
- песок 460 кг;
- щебень 300 кг;
- вода 185 кг.

Итого 2265 кг.

В замес добавлялся пластификатор ЩСПК (щелочной сток производства капролактама) в объёме 5 л, служащий для лучшего удобоукладывания бетонной смеси (удобоукладывание или удобоформуемость — способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя свою однородность).

Суточная прочность образцов на сжатие составила  $R_{сж} = 106 \text{ кгс/см}^2$  или 10,8 МПа, осадка конуса 15 см (осадка конуса определяется подвижностью (растекаемостью) под действием собственного веса бетонной смеси).

1. Снижали расход цемента на 10 % и заменяли тонкомолотыми отходами бетона. Состав замеса:

- цемент 283 кг;
- отходы бетона 32 кг;
- песок 460 кг;
- щебень 1300 кг;
- вода 160 кг.

Итого 2240 кг.

Пластификатор 5 л.

Суточная прочность образцов на сжатие составила:

$$R_{сж} = 108 \text{ кгс/см}^2 \text{ или } 11,0 \text{ МПа.}$$

Осадка конуса 10 см.

2. Снижали расход цемента на 10 % и заменяли тонкомолотым отвальным шлаком. Состав замеса:

- цемент 288 кг;
- отвальным шлаком 32 кг;
- песок 460 кг;
- щебень 1300 кг;
- вода 156 кг.

Итого 2236 кг.

Пластификатор 5 л.

Суточная прочность образцов на сжатие составила:

$$R_{сж} = 99,0 \text{ кгс/см}^2 \text{ или } 10,0 \text{ МПа.}$$

Осадка конуса 10 см.

Для определения предела прочности на сжатие после выдержки в течение семи суток изготавливались образцы из применяемых выше бетонных смесей и проводилась их термовлажностойкая обработка согласно приведённому графику.

Механические испытания образцов показали следующие результаты:

1) без замены цемента:

$$R_{сж.7сут} = 125 \text{ кгс/см}^2 \text{ или } 12,7 \text{ МПа;}$$

2) замена цемента 10 % тонкомолотыми отходами бетона:

$$R_{сж.7сут} = 123 \text{ кгс/см}^2 \text{ или } 12,5 \text{ МПа;}$$

3) замена цемента 10 % тонкомолотым отвальным шлаком  $R_{сж.7сут} = 142 \text{ кгс/см}^2$  или 14,4 МПа.

### Библиографический список

1. Комбинированные дробильно-измельчительные машины и возможности их применения для измельчения отходов шамотного кирпича [Текст] / Э. П. Левченко, О. А. Левченко, А. М. Зинченко и др. // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск: ДонГТУ, 2011. — Вып. 33. — С. 171–179.

2. Левченко, Э. П. Процессы диспергирования отходов огнеупоров в условиях металлургического производства [Текст] / Э. П. Левченко, О. А. Левченко, А. М. Зинченко // Пути совершенствования

Обычно заводы крупнопанельного домостроения в качестве заполнителя применяют мелкий кварцевый песок, что увеличивает потребность в цементе. В связи с этим предложено часть (40 %) кварцевого песка заменять отвальным шлаком или отходами бетона.

Для проведения экспериментов отвальным шлаком и отходами бетона были помолоты в ДИМ с фракцией 2,0–2,5 мм. Приготавливалась бетонная смесь для изготовления опытных образцов с заменой кварцевого песка отвальным шлаком и отходами бетона.

Суточная прочность образцов на сжатие составила:

1) контрольный без замены песка замес:

$$R_{сж} = 166 \text{ кгс/см}^2 \text{ или } 17,0 \text{ МПа;}$$

2) заменили 40 % песка молотым отвальным шлаком  $R_{сж} = 173 \text{ кгс/см}^2$  или 17,6 МПа;

3) заменили 40 % песка молотыми отходами бетона  $R_{сж} = 180 \text{ кгс/см}^2$  или 18,3 МПа.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Во всех случаях полученные результаты исследований показывают, что применение измельчённого отвального шлака и отходов бетона собственного производства в приготовлении бетонной смеси для производства строительных материалов позволяет экономить более дорогостоящий материал, такой как цемент и кварцевый песок, без снижения механических прочностных свойств бетона. Кроме того, это позволяет решить проблему малоотходного или безотходного производства в домостроении и других отраслях промышленности: металлургической, цементной и т. д.

В последующем предполагается расширение технических возможностей ДИМ комбинированного действия для других материалов, в том числе на основе применения гидравлического привода.

технологических процессов и оборудования промышленных производств : сб. тезисов докл. III междунар. научн.-техн. конф. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — С. 12–13.

3. Необходимость и предложения переработки строительных отходов [Текст] / Э. П. Левченко, А. М. Зинченко, О. А. Левченко и др. // Сб. материалов XII междунар. молодёжной научной конференции. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — С. 84–88.

4. Левченко, Э. П. Исследования принципа комбинированного воздействия на материал в дисковых дробильно-измельчительных машинах [Текст] / Э. П. Левченко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2023. — Вып. 30 (73). — С. 99–104.

5. Левченко, Э. П. Возможности и перспективы переработки строительных отходов на примере г. Алчевска [Текст] / Э. П. Левченко, А. Г. Макаревич // Экологический вестник Донбасса. — № 3. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — С. 62–70.

6. Левченко, Э. П. Кумуляция разрушающих усилий при диспергировании материалов в металлургии [Текст] / Э. П. Левченко // Инновационные перспективы Донбасса. — Донецк : ДонНТУ, 2020. — Т. 3: Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — С. 56–61.

7. Левченко, Э. П. Необходимость и предложение переработки строительных отходов [Текст] / Э. П. Левченко, А. М. Зинченко, О. А. Левченко // Планета — наш дом : сб. материалов XII междунар. молодёж. науч. конф. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — С. 84–88.

8. Строительные материалы [Текст] / Б. Г. Скрамтаев, Н. А. Попов и др. — М. : Высшая школа, 1981. — 362 с.

© Левченко Э. П.

© Вишневский Д. А.

© Зинченко А. М.

© Левченко О. А.

*Рекомендована к печати д.м.н., и.о. главного врача  
ГС «Алчевская городская СЭС» МЗ ЛНР Капрановым С. В.,  
к.х.н., зав. КМНИЛ НЦМОС ДонГТИ Смирновой И. В.*

*Статья поступила в редакцию 03.03.2023.*

**Ph.D. Levchenko E. P., Doctor of Technical Sciences Vishnevsky D. A., Ph.D. Zinchenko A. M.,  
Ph.D. Levchenko O. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR, levchenckoeduard@yandex.com)  
PROCESSING OF METALLURGICAL WASTE IN CRUSHING AND GRINDING  
MACHINES OF COMBINED ACTION**

*The paper is devoted to solving the problem of grinding some metallurgical waste in crushing and grinding machines of combined action aimed to their subsequent use. The possibilities have been presented of refractory grinding, as well as slag and concrete lumps.*

**Key words:** *crushing and grinding machines, combined action, metallurgical waste, refractories, slag, concrete waste.*