

к.т.н. Семирягин С. В.,
Дорогой Е. В.,
к.т.н. Кузнецов Д. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина,
evgeniy.dorogoy@gmail.com)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛУРГИИ ЗА СЧЕТ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ

В статье рассмотрена возможность расширения сырьевой базы предприятий черной металлургии за счет вовлечения в металлургический передел отходов угледобычи. На примере проведенного гранулометрического и химического анализа пустой породы ОФ «Володарская» принята попытка оценить возможные объемы вовлечения этого сырья в металлургический передел. Приведена методика расчета содержания полезных элементов в пустой породе в зависимости от ее гранулометрического состава.

Ключевые слова: пустая порода, отходы угледобычи, сырьевая база, металлургическое производство.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В горной промышленности, энергетике, химическом производстве, металлургии, в процессе производства продукции образуются отходы, масса которых в мире постоянно возрастает. Эти отходы получили название техногенных. Основная проблема их утилизации заключается в том, что большая часть техногенных отходов не перерабатывается и не может быть переработана на тех предприятиях, где образуется. Это в полной мере относится и к отходам угледобычи. Так, из недр Украины ежегодно извлекается свыше 1,5 млрд. т горной массы [1], из которой, после извлечения полезных компонентов, 60–70 % переводится в породные отвалы. Для размещения отвалов ежегодно отводится до 1,5–2,0 тыс. га сельскохозяйственных земель. В Украине в отвалах находится более 20 млрд. т горнопромышленных отходов, занимающих более 500 тыс. га земли [2]. Особенно остро стоит проблема утилизации техногенного сырья в индустриально развитом Донбассе, в структуре хозяйственного комплекса которого угольная промышленность является одной из ведущих отраслей. Специфика подземной добычи угля в

Донбассе состоит в том, что на каждые 1000 т добытого угля приходится до 800 т пустой породы. На территории Донбасса расположено свыше 1200 отвалов шахт (терриконов), площадь которых составляет 5 тыс. га, а с учетом санитарно-защитной зоны около 30 тыс. га. При этом ежегодный объем горной массы, выдаваемой в отвалы, составляет около 30 млн. м³, а их общий объем в регионе превышает 2 млрд. м³, что, безусловно, создает существенную экологическую напряженность [3]. В то же время, современная металлургия испытывает дефицит качественного и недорогого железорудного сырья и сырья для производства огнеупоров, что подтверждается рядом опубликованных в последние годы работ. В этой связи актуальной задачей, имеющей межотраслевое значение, является вовлечение неиспользуемых отходов угледобычи, образовавшихся в процессе прохождения подготовительных работ в шахтах и обогащения угля, как альтернативного источника железа, топлива и сырья для производства огнеупоров в металлургическом производстве.

В мировой и отечественной практике в больших масштабах утилизируют отходы как угледобычи, так и углеобогащения [4].

В Украине в настоящее время использование этих отходов, как правило, не связано с разработкой специальных технологических процессов. Они используются для закладки выработанных пространств в шахтах, выравнивания рельефа местности, рекультивация и т.д. В то же время многочисленными исследованиями, проведенными зарубежными и отечественными учеными, установлено, что содержание углерода в отходах менее 15% определяет их, как исходный материал для производства различного вида огнеупорного и шамотного изделия, различного вида керамических труб, плит, огнеупорных бетонов и т.д. Однако при переработке горных масс с содержанием углерода более 15 % возникает проблема утилизации углеродистого материала. Кроме того, и в той и в другой группе отходов может содержаться до 15 % железа. В то же время, отходы угледобычи имеют довольно широкий гранулометрический состав, который оказывает существенное влияние на содержание в них полезных элементов, что, в свою очередь, вызывает необходимость оценки этого показателя. Не все фракции отходов угледобычи могут быть переработаны по одной и той же схеме, поэтому разработка технологии их утилизации в зависимости от фракционного (химического) состава является важной и актуальной задачей в условиях горно-металлургического комплекса Украины.

Постановка задачи. Задачей данной работы является, на примере проведенного анализа гранулометрического и химического состава отвальной пустой породы ОФ «Володарская» провести оценку содержания в ней полезных вторичных элементов, пригодных для вовлечения в металлургический передел, а также дать рекомендации по разработке технологии их утилизации в металлургическом переделе.

Изложение материала и его результаты. Согласно данным, полученным в результате проведения работ [5; 6], основным направлением переработки отходов угледобычи в интересах металлургического комплекса является их высокотемпера-

турное спекание (агломерация) с получением на выходе железорудного концентрата и сырья для производства огнеупоров. Агломерация является основным, и, по сути, единственным перспективным способом крупнотоннажной переработки отходов угледобычи. Для наиболее полного использования потенциала процесса высокотемпературного спекания, ввиду различного гранулометрического (химического) состава, коим представлена отвальная пустая порода, является целесообразной разработка технологии ее утилизации, учитывающей этот фактор.

Общий вид исследуемой пустой породы приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 — Общий вид исследуемой пустой породы

Как видно из приведенного рисунка, исследуемая пустая порода представлена смесью кусков различной крупности. Ситовый состав данной пустой породы приведен в таблице 1. Как видно из таблицы 1, пустая порода представлена, в основном, фракцией + 10 мм, содержание которой составляет 62,3 %. Меньше всего содержится фракции 3-1 мм — 3,02 %. Из теории агломерации известно, что куски крупностью больше 10 мм плохо спекаются. Это связано с недостаточным временем пребывания в высокотемпературной зоне, и решается либо уменьшением размеров куска, либо повышением времени пребывания в высокотемпературной зоне, либо увеличением максимальной температуры.

МЕТАЛУРГІЯ

Таблица 1 — Гранулометрический состав исследуемой пустой породы

Фракция, мм	+10	10-7	7-5	5-3	3-1	-1
Содержание, %	62,30	9,46	8,20	8,05	3,02	8,96

Таблица 2 — Химический состав пустой породы в зависимости от ее фракционного состава, %

№	Элементы		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe _{общ}	C	MgO	P	п.п.п.	Основность, В
	Фракция, мм												
1	-1		38,3	12,5	1,32	11,6	6,29	13	19,4	0,97	0,084	24	0,05
2	3-1		46,6	16,8	0,55	5,02	4,16	6,74	15,3	1,1	0,091	21,6	0,03
3	5-3		52,1	18,8	0,38	3,42	3,42	5,05	11,1	1,17	0,091	16,7	0,02
4	7-5		54,3	19,1	0,38	4,61	3,33	5,81	7,22	1,27	0,098	12,9	0,02
5	10-7		55,2	18,4	0,38	6,03	4,07	7,38	4,71	1,94	0,12	9,8	0,03
6	+10		42,9	15,7	3,21	13,1	6,48	14,2	4,10	1,59	0,26	9,7	0,08

Из теории подготовки сырья к обогащению известно, что фракции различной крупности могут обладать различным химическим составом. С целью описания зависимости химического состава пустой породы от ее гранулометрического состава был выполнен пофракционный химический анализ, результаты которого приведены в таблице 2

Анализ химического состава пустой породы свидетельствует о наличии большой неоднородности содержания в различных фракциях таких важных для металлургического производства веществ, как железо, углерод, а также о некотором колебании основности.

Для удобства восприятия данных, приведенных в таблице 2, ниже они представлены в графическом виде. На рисунке 2 показана зависимость изменения содержания углерода в пустой породе от ее гранулометрического состава. Обозначения по оси у (фракция) соответствуют столбцу «№» таблицы 2.

Содержание углерода в пустой породе увеличивается по мере уменьшения размера фракции с 4,10 % для фракции +10 мм до 19,4 % для фракции -1 мм. Это явление объясняется тем, что углерод, входящий в состав угля, в образующих породу минералах содержится в незначительных количествах.

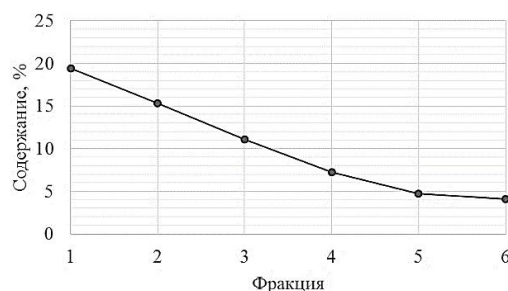
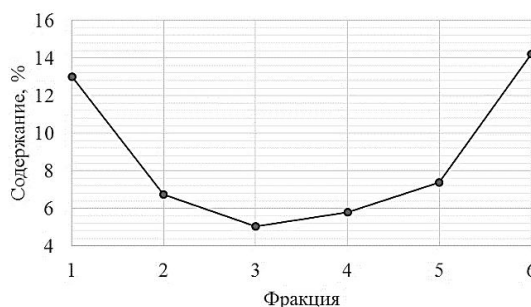


Рисунок 2 — Зависимость изменения содержания углерода в пустой породе от ее гранулометрического состава

Мелкие фракции, таким образом, становятся наиболее выгодными поставщиками тепла и восстановителя в процессе спекания. На рисунке 3 показана зависимость изменения содержания Fe_{общ} в пустой породе от ее гранулометрического состава.

Рисунок 3 — Зависимость изменения содержания Fe_{общ} в пустой породе от ее гранулометрического состава

Анализ представленной зависимости говорит о том, что железо находится либо в виде частично свободных от минералов пустой породы оксидов, что справедливо для фракций меньше 3 мм, либо заключено в минеральную оболочку, что справедливо для фракций больше 7 мм.

Наименьшее содержание железа наблюдается в фракции 5-3 мм.

На рисунке 4 показана зависимость изменения содержания FeO, а на рисунке 5 — Fe₂O₃ в пустой породе от ее гранулометрического состава.

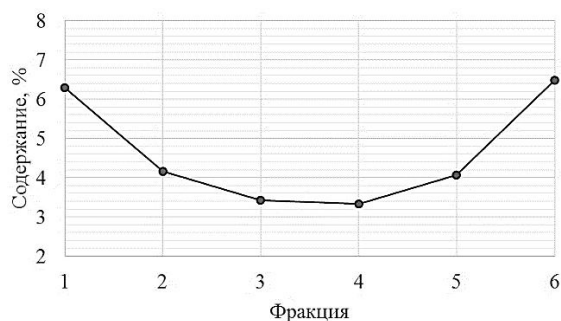


Рисунок 4 — Зависимость изменения содержания FeO в пустой породе от ее гранулометрического состава

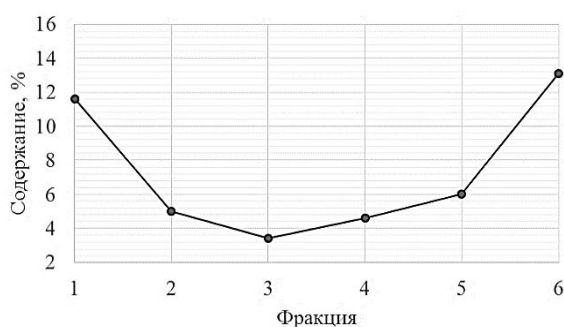


Рисунок 5 — Зависимость изменения содержания Fe₂O₃ в пустой породе от ее гранулометрического состава

Данная зависимость по своему характеру полностью соответствует зависимости, справедливой для Fe_{общ}. То же можно сказать и для кривой, представленной на рисунке 5, которая описывает зависимость изменения содержания Fe₂O₃ в пустой породе от ее гранулометрического состава.

Совместный анализ зависимостей, представленных на рисунках 3–5 может говорить о том, что железо в пустой породе представлено в основном в виде оксидов FeO и Fe₂O₃.

На рисунке 6 показана зависимость изменения основности пустой породы от ее гранулометрического состава.

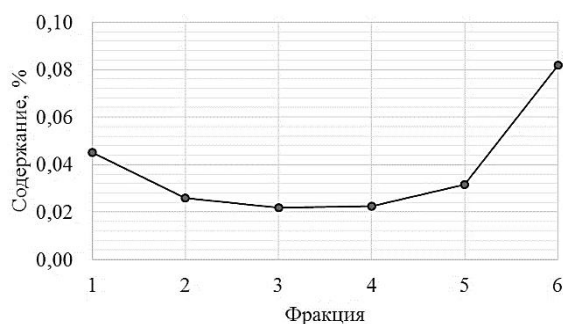


Рисунок 6 — Зависимость изменения основности пустой породе от ее гранулометрического состава

Основность пустой породы находится на уровне 0,02–0,08 в связи с присутствием в ее составе большого количества оксида кремния. Гранулометрический состав практически не влияет на основность, изменяя ее в незначительных пределах и не оказывая влияния на металлургическую ценность пустой породы. Также результаты анализа говорят о необходимости дополнительного введения в шихту при спекании пустой породы некоторого количества флюсующих материалов. Это вызвано необходимостью доведения основности до значений, требуемых для получения высококачественных огнеупоров.

Расчет содержания полезных элементов пустой породы в каждой из исследованных фракций проводился по формуле (1)

$$\text{Сод}_{III}^x = \%_{III}^x \cdot 10, \quad (1)$$

где x — полезный элемент пустой породы.

Расчет производится в килограммах полезного элемента на тонну пустой породы. Результаты проведенных расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Содержание полезного элемента в пустой породе в зависимости от ее гранулометрического состава, кг/т

№	Содержание, кг/т								
	Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe _{общ}	C	MgO
1	-1	383	125	13,2	116	62,9	130	194	9,7
2	3-1	466	168	5,5	50,2	41,6	67,4	153	11
3	5-3	521	188	3,8	34,2	34,2	50,5	111	11,7
4	7-5	543	191	3,8	46,1	33,3	58,1	72,2	12,7
5	10-7	552	184	3,8	60,3	40,7	73,8	47,1	19,4
6	+10	429	157	32,1	131	64,8	142	41	15,9

Таким образом, наибольшую металлургическую ценность представляют фракции – 1 мм и + 10 мм, обладающие максимальным содержанием углерода и железа. Стоит отметить, что из практики агломерационного производства известно, что успешное спекание шихты возможно при содержании углерода в ней на уровне 5-9 %. Таким образом, с топливной точки зрения фракции от – 1 до 7-5 мм могут быть поставщиками углерода для агломерации. И если фракция – 1 мм, содержащая углерод в количестве около 15 %, может обеспечить совместную с ней переработку других фракций, в которых углерод содержится в меньшем количестве, то более крупные фракции такой возможностью обладают в ограниченном объеме, вплоть до ее отсутствия у фракции 7-5 мм, где содержание углерода находится на нижнем пределе требуемого для стабильного спекания.

С точки зрения получения железа наименее привлекательными являются «средние» фракции (5-3 и 7-5 мм), в которых его содержание минимально.

Оценить объем вовлечения различных по содержанию полезных элементов фракций пустой породы в процесс совместного спекания для двухкомпонентной смеси можно по следующей методике. Из курса общей химии известно, что массовая доля

вещества в смеси — это отношение массы вещества к массе смеси (2)

$$\omega = \frac{m(v - va)}{m(c - cu)}, \quad (2)$$

где ω — массовая доля вещества в смеси; $m(v - va)$ — масса вещества в смеси; $m(c - cu)$ — масса смеси.

При выполнении расчетов с помощью графического метода отрезок прямой (основание графика) представляет собой массу смеси, а на осях ординат откладываются точки, соответствующие массовым долям вещества в исходных смесях.

Соединив прямой точки на осях ординат, получают прямую, которая отображает функциональную зависимость массовой доли вещества в конечной смеси от массы исходных смесей в обратной пропорциональной зависимости (3)

$$\omega = \frac{\omega_1 m_1 + \omega_2 m_2}{m_1 + m_2}, \quad y = \frac{k}{x}, \quad (3)$$

где ω_1 — массовая доля вещества в первой смеси; ω_2 — массовая доля вещества во второй смеси; ω — массовая доля вещества в новой смеси, полученной при смешивании первой и второй смеси; $m_1(v - va)$, $m_2(v - va)$, $m(v - va)$ — массы веществ в соответствующих смесях;

$m_1(c - cu)$, $m_2(c - cu)$, $m(c - cu)$ — массы соответствующих смесей.

График зависимости массовой доли вещества от массы исходных смесей приведен на рисунке 7.

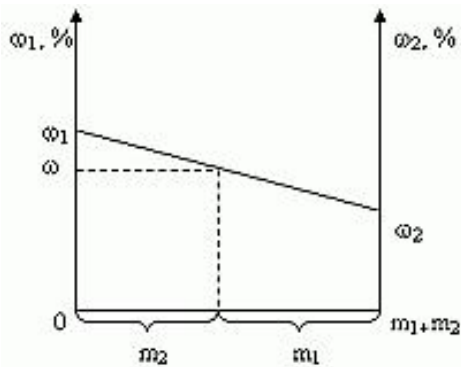


Рисунок 7 — Зависимости массовой доли вещества от массы исходных смесей

Для оценки общих запасов материалов, которые могут быть вовлечены в металлургический передел на основании данных по формуле (4) может быть выполнен расчет суммарных запасов полезных элементов

$$\text{Сод}_{III}^x = \frac{\%_{III}^x}{100} \cdot \Sigma_{III}, \quad (4)$$

где x — полезный элемент пустой породы; Σ_{III} — суммарные запасы пустой породы.

Если принять допущение, что вся пустая порода, находящаяся сейчас в породных отвалах на территории Украины имеет фракционный и химический состав, близки к рассматриваемой в данной статье, то суммарные запасы полезных элементов, содержащихся в ней, будут соответствовать данным, приведенным в таблице 4. Исходя из этих данных, несложно по известным зависимостям посчитать количество наиболее интересных для металлургического производства элементов (железа и углерода), которое находится в пустой породе. Даже такой упрощенных подсчет

говорит о больших запасах металлургического сырья, скрытого в отвальных пустых породах.

Различия в фракционном и химическом составе пустой породы ведет к необходимости разработки дифференцированной технологии ее переработки. Так, спекание мелких фракций (-1 мм) пустой породы невозможно реализовать без предварительного их окомкования, а переработка фракций крупнее 10 мм, являющихся хорошим поставщиком железа, невозможна без их предварительного измельчения. Фракции, занимающие промежуточное место (3-1, 5-3, 7-5, 5-10 мм), и зачастую не обладающие необходимым количеством топлива в своем составе должны подвергаться агломерации только в смеси с богатыми углеродом фракциями в пропорциях, обеспечивающих хорошие условия спекания. Соблюдение этих условий должно обеспечивать необходимый для протекания восстановительных реакций температурный уровень процесса и наличие достаточного для максимально полного восстановления железа уровня восстановителя. И если из теории и практики агломерационного производства известно, что необходимое для спекания шихты количество топлива (коксы) должно находиться на уровне 5-9 %, то при спекании отвальной пустой породы нужно рассчитывать количество топлива исходя не только из тепловых затрат на процесс агломерации, но, прежде всего, исходя из количества углерода, необходимого для перевода (восстановления) оксидов железа из немагнитных в магнитные, что обеспечивает, при дальнейшей переработке спека, легкое их отделение известными методами магнитной сепарации. Использование данного метода отделения железосодержащих материалов от остального спека способно обеспечить низкие производственные затраты на процесс, мобильность и компактность обогатительной установки.

Таблица 4 — Суммарные запасы полезных элементов, содержащихся в пустой породе, заскладированной на территории Украины

Содержание, г Фракция, мм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe _{общ}	C	MgO
– 1	$7,66 \cdot 10^9$	$2,50 \cdot 10^9$	$2,64 \cdot 10^8$	$2,32 \cdot 10^8$	$1,26 \cdot 10^9$	$2,60 \cdot 10^9$	$3,88 \cdot 10^9$	$1,68 \cdot 10^7$
3-1	$7,32 \cdot 10^9$	$3,36 \cdot 10^9$	$1,10 \cdot 10^8$	$1,00 \cdot 10^9$	$8,32 \cdot 10^8$	$1,35 \cdot 10^9$	$3,06 \cdot 10^9$	$1,82 \cdot 10^7$
5-3	$1,04 \cdot 10^{10}$	$3,76 \cdot 10^9$	$7,60 \cdot 10^7$	$6,84 \cdot 10^8$	$6,84 \cdot 10^8$	$1,01 \cdot 10^9$	$2,22 \cdot 10^9$	$1,82 \cdot 10^7$
7-5	$1,09 \cdot 10^{10}$	$3,82 \cdot 10^9$	$7,60 \cdot 10^7$	$9,22 \cdot 10^8$	$6,66 \cdot 10^8$	$1,16 \cdot 10^9$	$1,44 \cdot 10^9$	$1,96 \cdot 10^7$
10-7	$1,10 \cdot 10^{10}$	$3,68 \cdot 10^9$	$7,60 \cdot 10^7$	$1,21 \cdot 10^9$	$8,14 \cdot 10^8$	$1,48 \cdot 10^9$	$9,42 \cdot 10^8$	$2,40 \cdot 10^7$
+ 10	$8,58 \cdot 10^9$	$3,14 \cdot 10^9$	$6,42 \cdot 10^8$	$2,62 \cdot 10^9$	$1,30 \cdot 10^9$	$2,84 \cdot 10^9$	$8,20 \cdot 10^8$	$5,20 \cdot 10^7$

Выводы. На основании исследований, проведенных в данной работе можно сделать следующие выводы:

отходы, образующиеся в результате угледобычи не могут быть рационально переработаны в условиях угледобывающих предприятий;

– пустая отвальная порода, заскладированная во множестве терриконов, расположенных на территории Украины, является ценным источником сырья для металлургической промышленности;

– гранулометрическая и химическая неоднородность пустой отвальной породы

не позволяет вести ее рациональную переработку для извлечения ценных металлургических элементов по одной технологической схеме;

– наиболее привлекательными, на основе анализа пустой породы ОФ «Володарская», в металлургическом плане являются фракции – 1 и + 10 мм, содержащие максимальное количество железа и углерода;

– дальнейшие исследования должны быть направлены на исследования закономерностей спекания пустой породы и отработку технологии ее утилизации.

Библиографический список

1. Полулях А. Д. Развитие углеобогащения в Украине: анализ и перспективы / А. Д. Полулях // Обогащение полезных ископаемых. — 2013. — № 54. — С. 19-24.
2. Зубов А. А. Терриконы — объекты техногенной опасности / А. А. Зубов // Экологическая безопасность. — 2009. — № 4. — С. 89–92.
3. Смирнов В. О. Проективання збагачувальних фабрик / В. О. Смирнов, В. С. Білецький. — [2-ге вид.] — Донецьк : Східний видавничий дім, 2008. — 269 с.
4. Филиппенко Ю. Н. Промышленные отходы угольных предприятий, пути их использования и улучшение экологической обстановки / Ю. Н. Филиппенко, П. Т. Скляр, Е. В. Харлова // Обогащение полезных ископаемых. — 2012. — № 50. — С. 57-62.
5. Семирягин С. В. Использование отходов угледобычи в качестве сырья для получения железорудного концентрата / С. В. Семирягин, Е. В. Дорогой, О. В. Майорова // Наукові праці ДонДТУ. — 2013. — № 16–17. — С. 13–21.

6. Семирягин С. В. Использование отходов угледобычи при производстве огнеупоров / С. В. Семирягин, Е. В. Дорогой, Б. Н. Пилипенко // Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях. — 2013. — № 1. — С. 60–67.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Новохатским А. М., д.т.н., проф. ПГТУ Масловым В. А.

Статья поступила в редакцию 06.03.14.

**к.т.н. Семірягін С. В., Дорогий Є. В., к.т.н. Кузнецов Д. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)
ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ
ЗА РАХУНОК ЗАЛУЧЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ**

У статті розглянута можливість розширення сировинної бази підприємств чорної металургії за рахунок залучення в металургійний переділ відходів вуглевидобутку. На прикладі проведеного гранулометричного та хімічного аналізу порожньої породи ЗФ «Володарська» зроблена спроба оцінити можливі обсяги залучення цієї сировини до металургійного переділу. Наведено методику розрахунку вмісту корисних елементів в порожній породі в залежності від її гранулометричного складу.

Ключові слова: порожня порода, відходи вуглевидобутку, сировинна база, металургійне виробництво.

Semiriagin S. V. Candidate of engineering sciences, Dorogyi Ye. V., Kuznetsov D. Y. Candidate of engineering sciences (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

THE ESTIMATION OF THE PROSPECTS EXTENSION OF RAW MATERIAL SOURCE FOR THE FERROUS METALLURGY BY INVOLVEMENT COAL MINING WASTE IN THE PRODUCTION

The possibility of raw materials sources extending for the ferrous metallurgy by involvement coal mining waste in the production is considered in the article. On the basis of carried out granulometric and chemical analysis of barren rock CP “Volodarskaya” the attempt to estimate possible volume of engagement this raw material in metallurgical redistribution was taken. The calculation method of the content of useful elements in barren rock according to its granulometric structure is presented.

Key words: barren rock, coal mining waste, raw material source, iron industry.