

УДК 669.162.262

*к.т.н. Русанов И. Ф.,
к.т.н. Куберский С. В.,
к.т.н. Проценко М. Ю.,
Завгородний С. Р.*

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, rusanova-2011@inbox.ru)

РЕЦИКЛИНГ ТВЕРДЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Приведена оценка возможности рециклинга твердых техногенных отходов в черной металлургии. Выполнен анализ применимости сухой конвертерной пыли в качестве заменителя природных железосодержащих материалов. Показано, что по своему составу пыль может рассматриваться как эффективный заменитель агломерационной руды и концентрата. Рассмотрены способы подготовки пыли к рециклингу в металлургических производствах.

Ключевые слова: *рециклинг, техногенные отходы, кларки элементов, шлаки, шламы, конвертерная пыль, агломерация, окускование, брикетирование.*

Согласно оценкам Организации по сохранению природы WWF, человечество потребляет на 20 % больше природных ресурсов, чем в состоянии воспроизвести Земля. При этом экологический императив (или количество земли, необходимой для обеспечения жизненных потребностей одного человека) составляет 21,9 гектара, а биологические возможности Земли обеспечивают в среднем только 15,7 гектара на человека.

К тому же, как считают экологи, треть ресурсов Земли утрачена из-за их нерационального использования, а основной причиной глобального потепления является парниковый эффект, возникающий из-за свалок бытового мусора и промышленных отходов.

С целью привлечения внимания органов власти, бизнесменов, общественности и отдельных граждан к проблемам загрязнения окружающей среды как бытовым мусором, так и производственными отходами, ежегодно 15 ноября во многих странах отмечается Всемирный день рециклинга (от английского recycling, рециклирование и утилизация отходов) — повторное использование или возвращение в оборот полезных составляющих бытового мусора или отходов производства.

В 2014 году российский Greenpeace инициировал проведение Всемирного дня рециклинга в России.

Реализация технологических операций с отходами предусматривает превращение их во вторичное сырье, энергию или продукцию с определенными потребительскими свойствами.

Наиболее распространена как вторичная, так и многократная переработка в том или ином масштабе таких материалов как стекло, бумага, лом цветных и черных металлов, асфальт, ткани и различные виды пластика. Также с глубокой древности в сельском хозяйстве используются органические отходы.

В меньшей степени перерабатываются отходы производства. Согласно ГОСТ 30772–2001, это остатки сырья, материалов, веществ, изделий, предметов, образовавшиеся в процессе производства продукции, выполнения работ (услуг) и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства. К отходам производства также относят образующиеся в ходе реализации технологических процессов попутные вещества, не находящие применения в данном производстве.

Этим же ГОСТом определяется, что переработка отходов — это деятельность, связанная с выполнением технологических процессов по обращению с отходами для обеспечения повторного использования в народном хозяйстве полученных сырья, энергии, изделий и материалов.

Скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, представляющие собой отходы горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования, которое становится возможным по мере развития технологии их переработки и изменения экономических условий, рассматриваются как техногенные месторождения.

Содержание некоторых полезных компонентов в техногенных отходах соизмеримо с их долей в рудах природных месторождений.

Например, по данным работы [1] в породах угленосной толщи, углях и золе углей Донбасса присутствуют черные (*Cr*, *Mn*), легирующие (*Ti*, *V*, *Ni*, *Co*, *Mo*, *W*), цветные (*Cu*, *Zn*, *Pb*, *Hg*, *Sb*, *Bi*), благородные (*Ag*), редкие (*Li*, *Be*, *Sr*, *Y*, *La*, *Yb*, *Nb*, *Cd*, *Sc*, *Ba*, *Ge*) металлы и неметаллы (*P*, *F*). Концентрация некоторых элементов относительно высокая (*Ge*, *Be*, *Li* — 2–3 кларка концентрации — отношения среднего содержания данного химического элемента к кларку литосферы или ее части, *Yb* до 8 к. к.). Его расчеты показали, что в образующейся ежегодно в Донбассе золе содержится различных элементов на сумму в несколько миллиардов долларов США.

В доменных и сталеплавильных шлаках также высокое содержание полезных компонентов. В результате проведенного нами спектрального анализа проб сталеплавильного шлака из отвала Алчевского металлургического комбината установлено, что помимо основных элементов (*Fe*, *Ca*, *Si*, *Mg*, *Al* и *Mn*) в шлаке содержится более 50 элементов для большинства из которых кларки концентраций выше единицы, в том числе и благородных металлов.

В настоящее время технологии извлечения редких и благородных металлов из техногенных отходов неэффективны. Однако учитывая элементарный состав техногенных месторождений, они являются потенциальным источником добычи этих металлов.

Главными отличительными признаками техногенных месторождений являются:

- достаточно большой объем заскладированных отходов;
- расположение вблизи промышленных предприятий;
- достаточно высокая социально-экономическая эффективность их использования.

Кроме того, комплексное освоение техногенных месторождений позволит существенно улучшить экологию окружающей среды в промышленных районах, снизить ущерб, наносимый природе, и очистить значительные площади для новой хозяйственной деятельности.

Наибольшую долю в объеме техногенных месторождений черной металлургии занимают шлаковые отвалы (доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств) и шламонакопители.

До середины XX века металлургические шлаки и шламы рассматривались, в основном, как отходы производства и складировались в специальных отвалах. Но во второй половине столетия шлаки черной металлургии начали рассматривать как самостоятельный продукт металлургического производства. Они стали использоваться в гражданском и дорожном строительстве, для производства цемента и шлакоблоков, литых изделий, шлаковой ваты, а также в качестве удобрений.

Для всех металлургических шлаков устанавливается IV класс опасности [2] — малоопасные, приводящие к умеренному нарушению экосистемы и требующие не менее 3-х лет для ее восстановления. Это означает, что эти отходы металлургии вредны для окружающей среды, и требуют выбора правильного способа их рециклинга.

Способ рециклинга шлаков и шламов как доменного, так и сталеплавильного производства определяется их химическим составом. Основными их компонентами являются оксиды *SiO₂*, *CaO*, *Al₂O₃*, *MgO*, *FeO* и *CaS*. В шлаках сталеплавильного производства кроме перечисленных оксидов содержится металлическое железо в количестве 10–15 % в виде корольков и крупного скрапа, кото-

ГЕОЭКОЛОГИЯ

рый армирует шлак, в силу чего его переработка сильно затруднена. Содержание этих компонентов определяется составом исходного сырья, видом выплавляемого металла и технологическим режимом плавки.

Для характеристики свойств шлака наиболее важным количественным соотношением является CaO/SiO_2 , (основность (B)). По величине основности различают кислые (B меньше единицы), нейтральные (B равно единице или близко к ней) и основные (B более единицы) шлаки. Состав шлаков разной основности существенно отличается.

Примерный химический состав шлаков и шламов металлургических предприятий Донбасса представлен в таблицах 1 и 2.

Химический состав доменного шлака не позволяет осуществлять его рециклинг в металлургии, что обусловлено практическим отсутствием в нем металлического железа, близкой к нулю флюсующей способностью и высоким содержанием серы. В то же время высокое содержание в этих шлаках SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 позволяет широко использовать их в строительстве, для получения гранулированного шлака, щебня, пемзы, шлаковаты, цемента, клинкера, а также в качестве исходного материала для каменного литья. По многочисленным оценкам специалистов статистического учета, в настоящее время перера-

батывается свыше 90 % доменных шлаков текущего производства.

До начала 70-х годов прошлого столетия мартеновские шлаки использовались в небольшом количестве — в основном они рассматривались как источник щебня. Основная причина — это трудности, связанные с дроблением шлака из-за наличия в нем металлического железа. В настоящее время на многих предприятиях действуют установки по выделению металлического железа из шлака, получению обогащенного шлака с последующим рециклингом его в агломерации, а также при выплавке чугуна и стали. Особенности такого использования шлака освещены во многих работах сотрудников кафедры МЧМ ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», (например, в работе [3]) и обобщены в монографии [4].

Конверторный шлак также представляет определенный технологический интерес ввиду присутствия в нем окислов кальция, магния, железа и других ценных для металлургического передела элементов. После соответствующей подготовки (дробления) его можно использовать в агломерационном и доменном производствах. Например, на Енакиевском металлургическом заводе шлаки крупностью «-200» мм используют вместо флюса в доменной плавке, а крупностью «-40» мм в агломерации железорудного сырья [5].

Таблица 1

Химический состав шлаков

Вид шлака	Содержание компонентов, %										B
	$Fe_{общ}$	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	P_2O_5	S	
Доменный	1-1,5	1-2	—	30-45	35-48	5-6	5-10	2-6	—	<2	0,7-1,6
Мартеновский	8-16	<1	11-22	14-18	36-43	11-18	5-7	5-23	1,5-2	<0,5	2,0-3,1
Конвертерный	15-20	9-16	3-5	8-17	42-51	6-9	2-4	9-12	4-5	<0,5	2,5-6,4
Электросталеплавильный	1-2	<0,2	1-3	17-22	42-55	14-16	4-9	1-4	0,4-1,5	<0,45	1,9-3,2

Таблица 2

Химический состав шламов

Вид шлама	Содержание компонентов, %										п. п. п.
	$Fe_{общ}$	FeO	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Mn	Zn	Pb	$C_{общ}$	
Агломерационный	50,5	12,5	8,1	9,0	0,9	0,8	0,6	0,03	0,025	3,0	6,9
Доменный	45,9	10,1	7,6	10,9	1,0	1,7	1,1	0,08	0,02	10,2	15,3
Сталеплавильный	50,8	8,3	4,3	7,5	6,1	0,7	1,5	0,01	0,02	1,5	4,9

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Шлаки электросталеплавильного производства содержат меньшее количество железа, а доля основных окислов и легирующих элементов в них выше.

Шламы металлургических производств также являются ценным материалом и могут быть возвращены в металлургический передел посредством агломерации. Основной характерной особенностью шламов является их высокая дисперсность. Средний диаметр частиц шлама близок к размерам частиц железорудного концентрата и составляет около 0,05 мм. Поэтому его можно вводить в агломерационную шихту взамен дорогостоящего традиционного технологического сырья. Основным недостатком шламов является высокая влажность (до 30 %), что требует их предварительной сушки (до влажности 8–9 %).

Эффективность использования шламов при агломерации в значительной мере определяется способом их ввода в агломерационную шихту [6].

В условиях Алчевского металлургического комбината (АМК) все шламы поступают в один шламоотстойник, поэтому их состав существенно отличается от составов, приведенных в таблице 2. Оценка Металлургической ценности шламов АМК сделана в работе [7], а особенности процесса агломерации и его эффективность

при вводе в шихту большого количества шламов проанализированы в работе [8].

В конвертерном производстве помимо основной газоочистки имеется ряд аспирационных установок, обеспечивающих пылеулавливание на всех стадиях технологического процесса, вплоть до получения непрерывнолитой заготовки [9].

Пыли конвертерного производства стали отличаются высоким содержанием оксидов железа, повышенной основностью и низким содержанием кремнезема, что обуславливает целесообразность их утилизации в самом металлургическом цикле. В таблице 3 приведен химический состав пылей на разных участках ее улавливания и смеси всех пылей с учетом их фактического количества образующегося на единицу продукции.

Кроме содержания указанных в таблице 3 компонентов, в пылях присутствуют фосфор (около 0,2 %) и сера (в среднем 0,33 %).

Металлургическая ценность приведенных пылей обусловлена присутствием в их составе металлического железа, достаточно высоким содержанием общего железа, а также высокой основностью.

Ценность металлургического железорудного сырья в значительной степени снижается при наличии в нем вредных примесей, таких как цинк и свинец.

Таблица 3

Химический состав пыли, отобранной на различных участках конвертерного цеха

№	Fe	Fe _{мет}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Zn	Pb	n. n. n.
1	42,1	0,88	8,23	49,9	2,7	21,8	3,5	0,59	1,52	0,11	0,21	0,03	9,19
2	57,1	2,3	10,8	66,4	1,74	7,92	2,29	0,26	0,14	0,051	0,087	0,01	6,43
3	66,4	28,5	34,8	15,6	6,38	8,32	0,77	1,36	0,78	0,03	0,036	0,006	1,45
4	-	-	-	5,84	3,75	60	9,5	0,7	1,9	0,027	-	-	18,1
5	30,5	2,92	6,1	32,7	7,27	20,5	6,13	2,68	4,1	0,12	0,9	0,055	11,5
6	44,7	29,7	15,9	3,72	3,16	32	6,68	0,6	0,28	0,066	0,007	0,004	7,55
7	50,5	4,47	17,8	46,1	1,35	18,5	3,6	0,23	0,32	0,029	0,036	0,008	6,24
8	-	-	-	5,17	4,34	61,5	9,9	0,81	1,78	0,029	-	-	16,3
9	50,65	10,51	20,28	35,37	3,08	18,73	3,27	0,62	0,64	0,03	0,05	0,01	5,97

Примечания: 1 — неорганизованные выбросы из КК; 2 — перелив и десульфурация чугуна; 3 — скруббер (крупная); 4 — подача сыпучих и ферросплавов к КК; 5 — агрегат ковш-печь; 6 — узел грохочения извести; 7 — электростатический фильтр (мелкая); 8 — выгрузка и хранение сыпучих и ферросплавов; 9 — смесь проб пыли со всех участков ее сбора.

Согласно данным, приведенным в таблице 3, высокое содержание цинка, наблюдается в пробах пыли 1 и 5 участков, 0,21 % и 0,9 % соответственно. Однако доля пыли этих участков в смеси невелика (3,4 % и 0,9 %) что обеспечивает содержание цинка в ней всего 0,05 %. Содержание свинца в смеси пылей также незначительно (0,01 %). Такое содержание рассмотренных вредных примесей в пылях не превышает допустимого их содержания в агломерате.

Несмотря на интенсивный поиск вопрос о рациональном способе рециклинга пылей остается открытым.

Обычно мелкие техногенные отходы в зависимости от их химического состава и физических характеристик включаются в агломерационную шихту вместо аглоруды или концентрата.

В качестве оценки и сравнения химического состава железосодержащих материалов целесообразно использовать обобщенные показатели, методика расчета которых описана в работе [10].

В таблице 4 приведены данные для сравнения состава смеси пылей со всех участков их улавливания (табл. 3), а также концентрата Стойленского ГОКа и агломерационной руды Яковлевского ГОКа.

В первом столбце таблицы 4 приведено содержание общего железа $Fe_{общ}$ в материалах по данным химического анализа. Из сравнения данных столбца видно, что в смеси пылей содержание железа на 10–15 % меньше, чем в природных материалах. Однако после учета содержания в них всех полезных компонентов (в основном CaO) содержание $Fe_{эф}$ в смеси пылей резко возрастает до 70 %.

При условии спекания агломерата основностью 1,3 и содержащего 9 % FeO фактическое содержание железа $Fe_{ф}$ для смеси пылей остается выше, чем для концентрата. Это является следствием того, что смесь имеет основность $B = 6,08$, и дополнительного расхода флюса не требуется, а для офлюсования SiO_2 природных ма-

териалов необходимо вводить в шихту значительное его количество.

С увеличением заданной основности агломерата содержание $Fe_{ф}$ естественно уменьшается. Однако это уменьшение различно и зависит от основности материала. При увеличении основности агломерата на 0,1 единицу $Fe_{ф}$ смеси пылей уменьшается на 0,2, концентрата на 0,4, а руды на 0,5 %.

Выбор способа рециклинга техногенных отходов в значительной степени зависит от их ситового состава. Уловленные пыли относятся к мелкодисперсным материалам. В таблице 5 приведены обобщенные характеристики ситового состава пылей и их смеси (d_{cp} — средний размер частицы, ν — коэффициент вариации размера частиц).

В последнем столбце таблицы 5 приведено содержание в пылях и их смеси комкуемой фракции размером <0,4 мм.

Для сравнения в таблице 6 приведены характеристики ситового состава некоторых концентратов.

Сравнение данных таблиц 5 и 6 показывает, что в составе пылей достаточное количество комкуемой фракции, необходимой для получения прочных гранул после грануляции шихты.

Таблица 4
Содержание железа в материалах

Материал	$Fe_{общ}$	$Fe_{эф}$	$Fe_{ф}$	B
Смесь пылей	50,65	70,3	60,2	6,08
Концентрат	65,8	66,8	58,8	0,04
Руда	60,5	62,5	54,6	0,02

Таблица 5
Характеристики ситового состава пылей

№	d_{cp}	ν	<0,4
1	0,347	0,716	65,7
2	0,278	0,789	76,4
3	0,191	0,894	88,8
4	0,367	0,540	60,8
5	0,185	0,611	95,3
7	0,222	0,568	90,6
8	0,244	0,808	81,7
Смесь	0,228	0,685	87,2

Таблица 6
Характеристики ситового состава
концентратов

ГОК	d_{cp}	v	<0,4
Коршуновский	0,150	0,854	94,9
Новокриворожский	0,090	0,613	100,0
Лисаковский	0,480	0,300	29,0

Количество пыли, улавливаемой в условиях АМК, составляет 18,5–28,4 кг/т стали (в среднем 23,3 кг/т).

При часовой производительности кислородного конвертера емкостью 300 т около 400–500 т стали образуется 9–12 т пыли, а за сутки — 220–280 т.

При суточной производительности аглофабрики 12 тыс. т агломерата и работе одного конвертера расход пыли на 1 т агломерата составит 18–23 кг, а при работе двух конвертеров — 36–46 кг.

Введение в шихту 10 кг пыли позволяет снизить расход концентрата (около 8 кг) и известняка (более 1 кг).

При введении в шихту пыли вместо руды ее экономия составит около 8,5 кг, а известняка немного больше 0,5 кг.

За счет присутствия в пылях металлического железа в обоих вариантах экономия топлива составит 0,26–0,31 кг.

Таким образом пыль можно рассматривать как эффективный заменитель концентрата и руды. Но лучше вводить пыль в шихту вместо концентрата, так как его цена выше, а количество центров окомкования остается на прежнем уровне.

Несмотря на очевидность рециклинга пыли путем включения ее в агломерационную шихту, необходимо решить ряд вопросов, связанных с ее вводом.

Основная проблема состоит в том, что пыль сухая и ее загрузка в штабель или приемные бункера аглофабрики недопустима.

Наиболее простым решением этой проблемы представляется загрузка пыли на участках ее улавливания в автобетоносмесители с водой, обеспечивая увлажнение пыли до 6–8 %. Далее увлажненная пыль

может доставляться на аглофабрику или рудный двор для включения в шихту.

Возможен также вариант увлажнения пыли шламом из шламоотстойника или из газоочистки конвертерного газа с получением пылешламовой смеси влажностью 6–8 % с последующим вводом ее в шихту. Такая технология позволит решить сразу две проблемы: с одной стороны подсушки шлама, а с другой — увлажнения пыли. В зависимости от влажности шлама в этом варианте может быть получена смесь различного состава. Однако такой вариант сопряжен с капитальными затратами.

Кроме агломерации для окускования мелких техногенных отходов применимы окомкование и брикетирование. Оба эти способа требуют наличия специального оборудования: смесителей, окомкователей или прессов, агрегатов для сушки и обжига и т. д., а также значительных капитальных затрат. Как вариант, возможно производство микроокатышей без обжига с последующим их вводом в аглошихту.

Брикетирование как способ окускования шихтовых материалов в черной металлургии широкого применения не находит. Главная причина этого — низкая производительность оборудования и неудовлетворительная прочность брикетов. Однако в последнее время получило распространение окускование железосодержащих отходов металлургического производства методом их брикетирования.

Особенно привлекательно брикетирование отходов без обжига брикетов. Суть этих способов заключается в том, что при брикетировании используют какие-либо связующие вещества (цементные, карбонатного твердения, гидротермального и кристаллогидратного упрочнений). Готовые брикеты упрочняются в результате физико-химических процессов преимущественно в естественных условиях, что требует от нескольких часов до нескольких суток.

Безобжиговое окускование железорудных материалов позволяет значительно снизить топливо-энергетические затраты на про-

изводство, уменьшить капитальные затраты, улучшить санитарно-гигиенические условия труда, значительно удешевить процесс.

По нашему мнению, для брикетирования конвертерной пыли без последующего обжига целесообразно использовать портландцемент. В результате предварительных исследований установлено, что расход цемента должен составлять 10–15 % от массы пыли при влажности смеси 8–12 %.

При малом расходе цемента и времени сушки возможно получение рассыпающихся брикетов, которые пригодны для включения в агломерационную шихту.

При увеличении времени сушки можно получать материал необходимой прочности пригодный для доменных печей и кислородных конвертеров. Состав смеси для производства брикетов может быть абсолютно любым, все зависит от конкретных требований к качеству материала. При этом в брикетируемую смесь можно добавлять в качестве наполнителя крупнокусковые материалы, такие как МОС (металлизированные отходы сталеплавильные) фракции 10–60 мм [4], отсев агломерата и окатышей, а возможно и отсев кокса.

Производство брикетов с использованием конвертерной пыли возможно на оборудовании и по технологиям изготовления бетонных изделий.

Изложенное выше показывает, что рециклинг техногенных отходов производства черных металлов имеет важное народнохозяйственное значение. Его эффективность зависит от предварительной подготовки отходов.

Конвертерная пыль может использоваться в качестве заменителя в агломерационной шихте как руды, так и концентрата. Наиболее перспективным способом подготовки конвертерной пыли к использованию является ее брикетирование без обжига с использованием портландцемента в качестве связующего.

В ходе проведения дальнейших исследований необходимо:

- исследовать свойства пыли: влагоемкость, колебания химического и гранулометрического состава, комкуемости при разной влажности и т. д.;

- установить оптимальные условия получения брикетов заданной прочности при использовании разных связующих и различном времени отвердевания.

Библиографический список

1. Горовой, А. Ф. Прогнозирование техногенных месторождений в Донбассе [Текст] / А. Ф. Горовой // Оценка состояния отходов промышленных предприятий и перспективы использования их в качестве техногенных месторождений : тезисы докл. конф. (Кривой Рог, 13–15 дек. 1994 г.). — Киев, 1994. — С. 25–26.
2. Государственный классификатор отходов Луганской Народной Республики [Электронный ресурс] : утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологической безопасности Луганской Народной Республики и Министерства здравоохранения Луганской Народной Республики от 18 мая 2015 г. № 32/339 (в редакции приказа Министерства природных ресурсов и экологической безопасности Луганской Народной Республики и Министерства здравоохранения Луганской Народной Республики от 26 июля 2018 г. № 182/468). — Режим доступа: <https://sovminlnr.ru/docs/2018/08/14/u182-468.pdf>.
3. Перспективы разработки техногенных месторождений на примере переработки шлаков сталеплавильного производства Алчевского меткомбината [Текст] / С. Н. Петрушов, И. Ф. Русанов, Р. И. Русанов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2002. — № 4. — С. 123–125.
4. Петрушов, С. Н. Агломерация шихты с обогащенным мартеновским шлаком [Текст] / С. Н. Петрушов, Р. И. Русанов, В. М. Шулика. — Алчевск : Ладос, 2003. — 104 с.
5. Использование конвертерных шлаков в доменном производстве [Текст] / И. И. Шестопалов, Г. А. Петров, Г. М. Верцман и др. // *Металлург*. — 1990. — № 12. — С. 37–38.

6. Петрушов, С. Н. Влияние способа ввода шлама в аглошихту на ход процесса агломерации и качество агломерата [Текст] / С. Н. Петрушов, И. Ф. Русанов, Т. В. Осирко // Сборник науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — № 32. — С. 158–166.

7. Металлургическая оценка шламов АМК [Текст] / С. Н. Петрушов, И. И. Ровенский, С. Д. Кузьмина, Ю. В. Изюмов // Сборник науч. трудов ДГМИ. — Алчевск : ДГМИ, 2002. — № 15. — С. 214–221.

8. Анализ работы агломерационного цеха АМК в условиях нестабильного поступления природного сырья [Текст] / И. Ф. Русанов, С. В. Куберский, И. М. Мищенко, В. Ф. Кузьменко // Сборник науч. трудов ДонГТИ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2020. — № 21 (64). — С. 46–52.

9. Тюляев, Д. В. Анализ физико-химических свойств и технологической ценности конвертерной пыли [Текст] / Д. В. Тюляев, С. В. Куберский, М. Ю. Проценко // Сборник науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — № 13 (56). — С. 34–39.

10. Оценка возможности производства железоблиста на основе техногенных отходов [Текст] / И. Ф. Русанов, С. В. Куберский, М. Ю. Проценко, С. Р. Завгородний // Сборник науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — № 22 (65). — С. 37–45.

© Русанов И. Ф.

© Куберский С. В.

© Проценко М. Ю.

© Завгородний С. Р.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТИ Должиковым В. В.,
Зам. нач. ЦЛК Филиала № 1 «АМК» ООО «ЮГМК» Тарасовым В. Н.**

Статья поступила в редакцию 12.02.2022.

Ph.D. Rusanov I. F., Ph.D. Kubersky S. V., Ph.D. Protsenko M. Yu., Zavgorodniy S. R. (DonSTI, Alchevsk, LPR, rusanova-2011@inbox.ru)

RECYCLING OF SOLID INDUSTRIAL WASTE IN THE FERROUS METALLURGY

Assessment of recycling possibility for solid industrial waste in ferrous metallurgy is given. The applicability of dry converter dust as a substitute for natural iron-containing materials is analyzed. It is indicated that, in terms of its composition, dust can be considered as an effective substitute for sintering ore and concentrate. Methods for preparing dust for recycling in metallurgical industries are considered.

Key words: recycling, industrial waste, clarks of elements, slag, sludge, converter dust, agglomeration, lumping, briquetting.