

## Рециклинг пылей газоочисток металлургических печей

ООО «Металлургпроект», Невьянцев Глеб Игоревич, Руководитель проекта  
ООО «Металлургпроект», Юричев Андрей Викторович, Генеральный директор  
[www.metallurgproject.ru](http://www.metallurgproject.ru)

ООО «Металлургпроект» - специализированная проектная организация, осуществляющая технологическое и строительное проектирование, авторский надзор и организацию строительства объектов металлургической промышленности.

Деятельность компании охватывает весь металлургический цикл, начиная от разработки и внедрения современных технологий добычи и подготовки сырья перед подачей в процесс и заканчивая вопросами переработки и утилизации отходов металлургического производства, включая пыль газоочистки, шламов и шлаков.

Утилизация отходов производства является сегодня неотъемлемой частью технологического процесса. Существует несколько аспектов этого вопроса: экологический, экономический и технический.

В настоящее время перед металлургами остро стоят вопросы, касающиеся возможного рециклинга отходов металлургического производства, решение которых позволит как обеспечить экологическую безопасность производства за счет вторичного использования собственных отходов, так и снизить издержки производства за счет уменьшения экологических платежей и возврата целевого компонента в производственный процесс.

Переработка отходов позволяет значительно повысить эффективность производства, как за счет получения дополнительной основной продукции, так и за счет получения нового продукта переработки, который, являясь оборотным, снижает нормы расхода сырьевых материалов и энергоресурсов.

Также окомкование дисперсных отходов и последующее их складирование, по нашему мнению, является следующим шагом в направлении развития технологий хранения дисперсных отходов и минеральных остатков. В сравнении с пылевидным, окускованное состояние материала при отвальном хранении позволяет избежать загрязнения атмосферы за счет пылевыведения, уменьшить или полностью исключить загрязнение воды за счет выделения стоков. Окускованный продукт удобнее в обращении, а его отбор из хранилища менее проблематичен. Таким образом, окускование создает лучшие условия для утилизации отходов и повышает удельную материалоемкость площадей хранения (отвалов и полигонов).

Исходя из актуальности вышеназванных проблем, разработка и реализация технологий окускования таких дисперсных отходов металлургического производства, как, например, пыли газоочистки, как с целью их складирования и хранения, так и с целью возврата в производственный процесс, была выбрана одним из основных направлений деятельности компании.

Так, в 2012 году нашей компанией в рамках строительства второй очереди второго пускового комплекса ООО «Тихвинский ферросплавный завод» была введена в эксплуатацию линия по производству хромоуглеродистых брикетов ООО «ТФЗ» годовой мощностью 160 тысяч тонн, позволяющая производить брикеты нескольких сортов с добавками в их состав пыли газоочистки. Получаемые брикеты используются в качестве шихтовых материалов при выплавке высокоуглеродистого феррохрома. В качестве связующего компонента применялось жидкое стекло.

Перечень оборудования линии брикетирования приведен в таблице 1.

Таблица 1

### Перечень оборудования линии брикетирования

Поз. по схеме	Наименование
1	Весовой дозатор непрерывного действия
2	Сборный ленточный конвейер с укрытием
3	Теплогенератор сушильного барабана
4	Сушильный барабан СБ
5	Дозатор непрерывного действия
6	Агрегат насосный
7	Емкость для хранения жидкого стекла с обогревом
8	Емкость для промывочной воды с обогревом
9	Емкость для подготовки жидкого стекла с механическим перемешивающим устройством
10	Расходная емкость жидкого стекла
11	Агрегат насосный дозирующий
12	Смеситель лопастной двухвальный непрерывного действия СМ
13	Пресс валковый ВП
14	Раскладчик Р
15	Теплогенератор ленточного сушильного агрегата
16	Сушилка ленточная
17	Скребок конвейер для сбора просыпи
18	Агрегат сортировки АС

Принципиальная схема линии брикетирования приведена на Рис. 1.

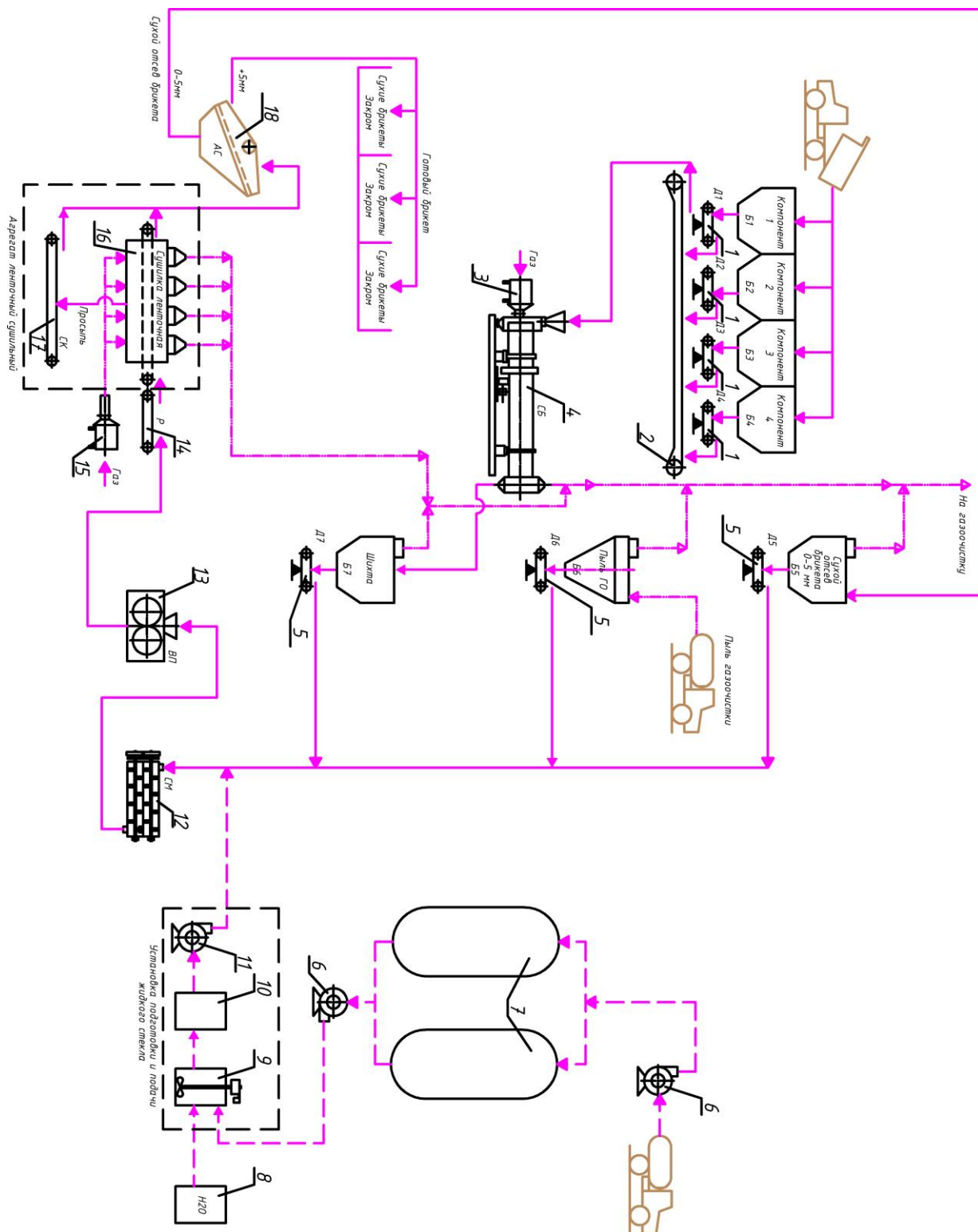


Рис.1 Принципиальная схема линии брикетирования

Экспериментально было установлено, что высокое качество сырых и сухих брикетов возможно получить только при расходе жидкого стекла с силикатным модулем 3,0 ед. в количестве 8 г на 100 г шихты. Учитывая, что влажность жидкого стекла в среднем равна 50%, то достичь оптимальной влажности сырых брикетов в пределах 3,0-4,0% возможно только, используя компоненты с влажностью не более 1%. Учитывая, что влажность поступающей на предприятие хромовой руды составляет в среднем около 5%, то очевидна необходимость ее предварительной сушки, которая производится в сушильном барабане СБ.

Также, независимо от выбранного метода окускования, крайне важна предварительная подготовка сырья перед подачей на окускование.

Основные параметры процесса брикетирования и получаемого брикета приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Основные параметры процесса для брикетирования и получаемого брикета**

№ п/п	Показатели	Размерность	Значения показателей	
1	Плотность жидкого стекла	г/см <sup>3</sup>	1,36	
2	Модуль жидкого стекла	ед.	3,0	
3	Расход жидкого стекла	г/100г шихты	8	
4	Форма брикета	-	«чечевичная»	
5	Размер брикета	мм	60х60х25	
6	Усилие прессования	кг/см <sup>2</sup>	300	
7	Качество сырых брикетов	Влажность	масс. %	3,4
		Прочность при сжатии	кг/брик.	17,5
		Прочность при сбрасывании с 0,5 м	раз	8
8	Качество сухих брикетов	При сжатии	кг/брик.	>250
		При сбрасывании с 1,3 м на стальную плиту	раз	>10
		Плотность	г/см <sup>3</sup>	3,5

Основными видами продукции реализованной линии брикетирования являются:

1. Хроморудный брикет из отсевов хромовой руды фракции 0-15 мм;
2. Хроморудный брикет из отсевов хромовой руды и пыли, уловленной системой газоочистки ферросплавных печей;
3. Хромоуглеродистый брикет из отсевов хромовой руды фракции 0-15 мм, коксовой мелочи фракции 0-5 мм и пыли, уловленной системой газоочистки ферросплавных печей;
4. Хромовый брикет из мелочи высокоуглеродистого феррохрома фракции 0-10 мм;
5. Брикет из пыли, уловленной системой газоочистки ферросплавных печей.

В результате линия брикетирования ОХБ ООО «ГФЗ» обеспечивает как экологическую безопасность производства за счет вторичного использования собственных отходов, так и позволяет снизить издержки и увеличить объемы производства товарного феррохрома за счет следующих факторов:

1. Возвращение в производство целевого компонента;
2. Обеспечение необходимой газопроницаемости рудного слоя при использовании в составе шихты брикетов (вместо ранее используемой руды фракцией 0-15 мм);
3. Предотвращение потерь хромовой руды фракцией 0-15 мм, входящей в состав шихты, вследствие уноса мелкой фракции руды в систему газоочистки ферросплавных печей;
4. Уменьшение общего количества пыли, улавливаемой системами газоочистки плавильного цеха за счет отсутствия в шихте хромовой руды фракцией 0-15 мм;
5. Уменьшение экологических платежей, связанных с размещением и захоронением пыли, улавливаемой системами газоочисток предприятия (пыль входит в состав брикета и возвращается в производственный цикл).

При реализации линии брикетирования на Тихвинском ферросплавном заводе, нашей компании была поставлена задача максимально использовать существующее на предприятии оборудование, что не позволило нам в полной мере реализовать свою концепцию линии, отвечающую современным требованиям к производственным комплексам такого типа.

В развитие темы брикетирования нами были проведены экспериментальные работы по окусковыванию пылей газоочистки электродуговых печей сталеплавильного производства ОАО «Волжский трубный завод».

Массовое содержание основных компонентов пыли газоочистки приведено в Таблице 3.

Таблица 3

**Массовое содержание основных компонентов пыли газоочистки**

SiO <sub>2</sub>	CaO	ZnO	MgO	C	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6,44%	21,3%	4,7%	1,49%	2,6%	2,68%	47,6%	1,33%

Для проработки альтернативных валковому прессованию способов окусковывания отходов металлургического производства окусковывание пыли газоочистки производили двумя способами: на тарельчатом и на шнековом грануляторах.

Целью окускования являлось получение сферических гранул размером 15÷20 мм из пыли газоочистки. В качестве компонентов для изготовления жидкофазного связующего предполагалось использовать: воду техническую, стекло жидкое плотностью 1,43 г/см<sup>3</sup>, мелассу свекловичную плотностью 1,36 г/см<sup>3</sup>.

Опыты проводили на тарельчатом грануляторе ОТ-080К01 с использованием в качестве связующей жидкости раствора жидкого стекла плотностью 1,26 г/см<sup>3</sup>. Использование в качестве связующей жидкости раствора жидкого стекла плотностью 1,26 г/см<sup>3</sup> обусловлено конструктивными особенностями применяемой форсунки и невозможностью получения мелкодисперсного распыла на растворах с большей плотностью, имеющих и более высокую вязкость.

В гранулятор тарельчатый ОТ-080К01 (диаметр тарели 800 мм, высота борта тарели 150 мм) загружали небольшое количество пыли газоочистки. На подвижный слой материала через форсунку гранулятора перистальтическим насосом НП-16 вводили связующее. После образования зародышей (гранул размером 1÷2 мм), на влажный подвижный слой материала добавляли пыль, что приводило к росту гранул. После прекращения роста гранул вводили связующую жидкость для увлажнения слоя и далее вновь добавляли порошок для роста гранул. Многократно повторяя эти операции, получали гранулы требуемого размера, которые переваливались через борт тарели в приемную емкость. Полученные гранулы сушили в сушильном шкафу при температуре 150°С в течение 4 часов.

Влажность определяли путем сушки до постоянного веса, прочность влажных гранул (после гранулятора) определяли методом сбрасывания с высоты 1 м на стальную поверхность по проценту выхода неразрушенных гранул.

В результате проведенного эксперимента установлено, что окускование пыли газоочистки методом окатывания на тарельчатом грануляторе для получения сферических гранул из пыли газоочистки не дало положительного результата.

В процессе эксперимента получены гранулы, состоящие из большого количества друз размером 2÷5 мм, слабо связанных между собой, что существенно снижает прочность гранул. Разлом гранулы в процессе испытаний на прочность происходит по границам друз. Прочность сырых гранул (процент неразрушенных гранул после сбрасывания) - не более 20%.

Различные виды связующей жидкости (вода, водный раствор жидкого стекла) и её количество, а также другие режимные параметры процесса гранулирования существенно не повлияли ни на структуру, ни на прочность гранул. Влажность полученных гранул 6÷8%.

По нашему мнению это обусловлено специфическими свойствами пыли и прежде высоким содержанием СаО (21%). Известь быстро связывает в мелкодисперсном продукте свободную воду, которая входит в состав связующей жидкости и приводит к образованию мелких гранул размером 2-5 мм, на которые не накатывается порошкообразный материал, что не способствует дальнейшему росту гранул, как в традиционной технологии окускования методом окатывания. Крупные гранулы размером 15-20 мм образуются в результате сцепления между собой мелких гранул и представляют собой шарообразные конгломераты рыхлой структуры и низкой прочности.

Опыты проводили на грануляторе шнековом типа ФШ с получением цилиндрических гранул. Применяли шнек диаметром 63 мм, шагом 44 мм (в зоне формования) и длиной зоны формования 110 мм через плоскую фильеру (толщина – 17 мм, 12 отверстий диаметром 8 мм). Частота вращения шнека 30 об/мин. Качество полученных гранул (состояние боковой поверхности гранулы, равномерность истечения жгута из отверстий фильеры) определяли визуально.

Изменяя соотношение Ж/Т (между жидкофазным связующим и порошком), добивались получения качественных гранул. Фиксировали оптимальное соотношение количества жидких и твердых продуктов (Ж / Т) в смеси, при котором в процессе гранулирования получали качественные гранулы.

Полученные гранулы анализировали на влажность путем сушки пробы до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 150°С и прочность влажных гранул методом сбрасывания с высоты 1 м на стальную поверхность по проценту неразрушенных гранул.

Условия и результаты опытов по определению оптимального количества жидкофазного связующего в увлажненной смеси для гранулирования экструзионным методом приведены в таблице 4.

В результате проведенного эксперимента установлено следующее:

1. Применение способа окускования методом экструзионного формования для получения гранул из пыли газоочистки с использованием жидкофазного связующего дало положительный результат.
2. Лучшие результаты с точки зрения процесса гранулирования достигнуты при использовании в качестве жидкофазного связующего – воды. Получены цилиндрические гранулы плотной однородной структуры, прочность влажных гранул достаточна для подачи их в сушилку.
3. Применение в качестве связующей жидкости жидкого стекла плотностью 1,43 г/см<sup>3</sup> не дало положительного результата. Процесс формования гранул без дополнительного введения в увлажненную смесь 8÷10% воды невозможен (истечение жгутов из отверстий фильеры наблюдалось при увеличении соотношения Ж/Т до 0,4 и более).
4. Получены положительные результаты при снижении концентрации жидкого стекла в связующей жидкости до 50% (за счёт введения воды), но при этом влажность гранул составила 16,0%, а производительность гранулятора уменьшилась 1,5 раза.

5. Хорошие результаты получены при использовании в качестве жидкофазного связующего 50% водного раствора мелассы. Качество гранул такое же, что и при использовании воды. Влажность почти на 2% ниже. Но при этом производительность гранулятора снизилась на 25%. Ввиду конструктивных особенностей форсунки смесителя, не позволяющих подавать в аппарат жидкости с высокой вязкостью, концентрация раствора мелассы не может превышать 50%.

Таблица 4

**Определение оптимального количества жидкофазного связующего в увлажненной смеси для гранулирования пыли газоочистки на шнековом грануляторе типа ФШ.**

№ опыта	Жидкофазное связующее	Соотношение Ж/Т	Влажность гранул, %	Прочность влажных гранул, % не разрушенных гранул	Размер гранул		Примечание
					диаметр, мм	длина, мм	
1	Раствор жидкого стекла (2ч.Ж.С.+1 ч. H <sub>2</sub> O)	0,27	16,7	59	8	6÷20	Неравномерное истечение жгутов из отверстий фильеры. Поверхность гранул с рытвинами. Сильный нагрев фильеры и заклинивание шнека
2	Раствор жидкого стекла (1ч.Ж.С.+1 ч. H <sub>2</sub> O)	0,23	16,7	81	8	8÷30	Качество гранул удовлетворительное. Наблюдается нагрев фильеры
3	Раствор мелассы (1ч. М.+1ч. H <sub>2</sub> O)	0,1	6,0	93	8	8÷40	Неравномерное истечение жгутов, однако нагрев фильеры улучшает качество боковой поверхности и увеличивает производительность гранулятора.
4	Раствор мелассы (1ч. М.+1ч. H <sub>2</sub> O)	0,13	7,5	99	8	8÷40	Качество гранул хорошее, наблюдается нагрев фильеры, улучшающий процесс.
5	Раствор мелассы (1ч. М.+2ч. H <sub>2</sub> O)	0,11	8,0	98	8	8÷40	Качество гранул удовлетворительное, наблюдается нагрев фильеры, улучшающий процесс.
6	H <sub>2</sub> O	0,11	10,0	99	8	8÷40	Качество гранул хорошее, наблюдается незначительный нагрев фильеры.

После получения положительных результатов по окускованию пыли газоочистки на промышленной линии, включающей в себя технологию и валковые пресса, разработанные специалистами ЗАО «Металлургпроект» и положительных результатов по окускованию пыли газоочистки, полученных в лабораторных условиях на экструзионном шнековом грануляторе, нами, с целью определения предпочтительной технологии, был проведен их сравнительный анализ по основным характеристикам.

Результаты данного анализа представлены в таблице 5.

**Сравнительный анализ технологий окускования  
с применением валковых прессов и шнекового экструдера**

№	Наименование	Окускование на линии ЗАО «МЕТАЛЛУРГПРОЕКТ» (с применением валковых прессов)	Окускование с применением жесткой вакуумной экструзии
1	Производительность линии	25 тн/ч	25 тн/ч
2	Мощность прессового оборудования	30 кВт*ч	150 кВт*ч
4	Затраты комплекса по электроэнергии	около 20 кВт*ч/тн	около 35 кВт*ч/тн
6	Надежность оборудования	Высоконадежное. Простая конструкция.	Сниженная надежность за счет самой конструкции экструдера.
7	Защита прессового оборудования при попадании негабарита. Необходимость очистки прессового оборудования при вынужденной остановке.	Присутствует. Попадание негабарита не вызывает заклинивание или поломку оборудования. При остановке валков пресса количество материала между ними настолько мало, что трудностей при повторном пуске не возникает. Дополнительная очистка не требуется.	Отсутствует. Попадание негабарита может вызвать поломку дорогостоящих шнека и/или фильеры. Остановка экструдера может привести к отверждению состава в камере экструдера при несвоевременной очистке и, как следствие, потерям времени для его пуска в дальнейшую работу.

По результатам проведенных работ метод окускования пыли газоочистки с применением валковых прессов был нами выбран как предпочтительный.

В заключение необходимо отметить, что вопросы, связанные как с окускованием отходов металлургического производства с целью их рециклинга, так и с их окускованием для хранения с целью оптимизации использования площадей полигонов и отвалов вместе с существенным сокращением наносимого вреда окружающей среде, в настоящий момент, бесспорно, являются очень острыми и актуальными, требующими незамедлительных решений и оптимальных подходов, которые позволят не только сокращать издержки предприятия, но и минимизировать затраты предприятий на реализацию данных проектов.

С нашей точки зрения, одним из таких решений является линия брикетирования ЗАО «Металлургпроект», обладающая следующими основными преимуществами:

1. Возможность предварительного задания химического состава и необходимых физико-химических и механических свойств получаемого брикета;
2. Возможность изготовления брикетов из заданного Заказчиком числа компонентов;
3. Возможность брикетирования материалов, имеющих различную плотность, крупность (от рудных материалов фракцией 0-15 мм до пылей газоочисток фракцией 0-100 мкм), абразивность и влажность (рудная мелочь, прокатная окалина, отсеvy обожженной извести, пыли газоочисток и т.д.);
4. Выдерживание необходимого химического состава брикета за счет точного дозирования шихтовых компонентов;
5. Защита прессового оборудования от поломки/заклинивания при попадании негабаритных материалов;
6. Простота и надежность применяемого оборудования;
7. Низкие эксплуатационные затраты;
8. Полная автоматизация линии;
9. Унификация применяемого оборудования;
10. Отсутствие собственных отходов (все образующиеся отходы возвращаются в процесс производства брикетов);
11. Возможность использования готового продукта (теплого брикета) непосредственно после прохождения всех технологических операций (без складирования).

В настоящий момент специалистами компании решается проблема высокого содержания цинка при переделе брикетов из пыли газоочистки дуговых сталеплавильных печей. Наша компания приглашает к сотрудничеству все, заинтересованные в рециклинге собственных отходов, предприятия и научные центры для дальнейшей, более глубокой, проработки технологии и реализации ее на промышленных площадках предприятий не только металлургической, но и горнорудной, строительной и в других отраслях промышленности.