



ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА УРАЛА

Ю.А. Гудим, А.А. Голубев

Промышленная компания "Технология
металлов", г. Челябинск

Уральский регион — традиционное место размещения предприятий черной и цветной металлургии. Металлургические предприятия Урала производят огромное количество черных и цветных металлов, что дает возможность региону развиваться эффективно. Но концентрация металлургических предприятий в регионе имеет и ряд отрицательных сторон, проявляющихся прежде всего в резком ухудшении экологической обстановки. Производство черных и цветных металлов сопровождается получением большого количества отходов, значительная часть которых до сих пор не используется, складывается в отвалах, хранилищах, отстойниках. К числу таких отходов относятся металлургические шлаки, шламы, пыли, замасленная окалина. На 1 т производимого чугуна образуются около 0,6 т доменного шлака, до 0,1 т колошниковой пыли и шлама с газоочистных соору-

жений. Доменные шлаки широко используют в производстве строительных материалов. На 1 т производимой стали приходится 0,15 т сталеплавильного шлака и до 30 кг пыли, на 1 т выпускаемой черновой меди или никеля — до 100 т шлака и до 50 кг пыли. Производство каждой тонны алюминия сопровождается образованием нескольких тонн отходов, главным образом так называемого "красного шлама" — мелкодисперсных отходов с влажностью 50 % и более, которые необходимо хранить в специальных шламохранилищах. Только в Челябинской области ежегодно образуется металлургических отходов более 5 млн т.

Отходы содержат большое количество ценных компонентов, извлечение и вторичное использование которых позволяет увеличить сырьевую базу металлургии и уменьшить добычу первичных полезных ископаемых (табл. 1).

В настоящее время возможности вторичного использования ценных компонентов металлургических отходов реализуются незначительно, а извлечение ценных компонентов из таких отходов производится неполно.

Окисленные сталеплавильные шлаки в твердом виде частично перерабатываются чисто механическими методами с целью извлечения из них металлического железа. Оксиды железа, в большом количестве присутствующие в таких шлаках, не извлекаются. Некоторое количество шлаков используется в виде низкокачественного строительного материала для автомобильных дорог неответственного назначения. Применяемые способы утилизации не являются безотходными, кроме того, они не дают возможность утилизировать пыли и шламы.

Радикальное решение вопроса безотходной утилизации побочных продуктов металлургического про-

Таблица 1. Средний состав металлургических отходов, %

Отходы	SiO ₂	Fe+FeO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Cu	Ni	Zn	Pb	S	Температура плавления, °C
Шлаки:											
ОАО КМК (Карабаш)	32-45	25-45	4-12	3,2-9,7	2-11	0,3-0,9	-	0,5-1	0,22-0,8	0,4-1,2	1100-1150
ОАО "Уфалейникель"	30-45	15-30	4-17	3-11	6-12	0,05-0,2	0,1-0,17	-	-	0,1-0,2	1100-1200
ОАО "Южуралникель", конвертерные	25-35	40-60	2-3	3-10	2-4	0,1-0,2	0,1-0,3	-	-	2-3	1100-1200
ОАО ЧМК, сталеплавильные окисленные	17-25	25-40	40-47	2-7	3-10	-	-	-	-	0,1	1300-1350
Красные шламы производства глинозема	7-15	42-55	8-11	15-17	0,5-1,4	-	-	-	-	1,0-1,5	1250-1300

Таблица 2. Состав сырья, %

Вид сырья	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFeO	CaO	MgO	MnO	Fe, корольки	SO ₃
Отвальный стале- плавильный шлак	15 – 19	1,5 – 3	25 – 35	35 – 50	1,5 – 2,5	4 – 7	6,1 – 10	–
Плавильный цементный клинкер (переплавленный и частично восстановленный сталеплавильный шлак)	18,5 – 23,5	1,85 – 3,7	4,5 – 5,2	61,7 – 63	1,85 – 3,1	2,5 – 4	–	–
Клинкер портландцемента	17 – 25	3 – 8	4 – 6	60 – 67	2,5 – 5	Нет сведений	–	–
Цемент марки 500	21,55	5,5	4,72	65,9	1,5	То же	–	1,9

изводства возможно лишь при использовании пирометаллургических процессов (высокотемпературной обработки расплавленных шлаков, шламов и пылей). В этом случае реализуется возможность дополнительного, достаточно высокого извлечения из них железа и других металлов путем восстановления оксидов, осаждения из шлакового расплава восстановленного металла и получения шлаковых расплавов, пригодных для производства высококачественных строительных материалов.

Практическое использование указанной технологической схемы возможно лишь при наличии высокопроизводительного, экономично работающего шлакоплавильного агрегата, конструкция которого исключала бы возможность влияния огнеупорной футеровки на состав и свойства переплавляемых шлаков. Таким является так называемый гарнисажный агрегат, у которого на рабочей поверхности корпуса в шлаковой зоне образуется гарнисаж (шлаковая тугоплавкая настель) в результате интенсивного охлаждения корпуса снаружи, тогда как состав получаемых шлаков определяется только составом загружаемых шихтовых материалов.

Промышленная компания "Технология металлов" совместно с подольским предприятием "Гидропресс" и челябинской фирмой "АКОНТ" разработали проект высокопроизводительного непрерывно работающего многофункционального гарнисажного плавильного агрегата АПМ "МАГМА" с охлаждением корпуса жидкометаллическим теплоносителем, позволяющего перерабатывать в год до 400 тыс. т твердых отходов металлургического производства. Использование такого агрегата позволяет реализовать ряд инновационных эффективных технологи-

ческих схем полной утилизации металлургических отходов и соответственно улучшить экологическую обстановку в районах образования и размещения этих отходов. Наиболее интересные из них:

- переработка окисленных сталеплавильных шлаков на портландцементный клинкер с извлечением железа;
- переработка шлаков производства меди и сплавов никеля на шлакокаменное литье с извлечением остатков цветных металлов;
- совместная переработка сталеплавильных шлаков и кислых шлаков производства меди и никеля с полным извлечением железа и производством шлаковых добавок для цементной промышленности;
- переработка красных шламов глиноземного производства с извлечением металлического железа и получением цементного клинкера.

Переработка окисленных сталеплавильных шлаков

До настоящего времени сталеплавильные шлаки и пыли складировались и практически не использовались, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и корольков металлического железа (табл. 2).

В последнее время распространение получили различные способы извлечения из сталеплавильных шлаков металлического железа, включающие дробление, размол и магнитную сепарацию измельченного шлака. Такими способами обычно удается извлечь не более 30 – 40 % железа (металлического и оксидного), содержащегося в шлаке. Для остатков шлака пока не предложено эффективных вариантов использования.

Более выгодным вариантом переработки сталеплавильных

шлаков и пылей является их пирометаллургическая переработка, включающая расплавление шлаков, восстановление оксидов железа, осаждение капелек металла из шлака, корректировку состава шлака с целью его эффективного использования в дальнейшем.

Применительно к описанному выше новому плавильному агрегату компанией "Технология металлов" разработана и опробована технология пирометаллургической переработки сталеплавильного шлака и пыли, включающая расплавление и нагрев шлака, восстановление большей части содержащихся в нем оксидов железа, осаждение капелек металла с получением жидких железоуглеродистого сплава и плавящего цементного клинкера.

В табл. 2 приведены составы отвального сталеплавильного шлака, плавящего цементного клинкера, портландцементного клинкера, получаемого по традиционной схеме в обжиговых печах из первичного природного сырья и типичного портландцемента марки 500.

Видно, что состав получаемого плавящего цементного клинкера практически не отличается от традиционного состава портландцементного клинкера, полученного традиционным способом — спеканием первичных природных материалов.

На рис. 1 приведена упрощенная технологическая схема предлагаемого процесса.

Опытные данные и расчеты показывают, что при переработке по такой схеме 1 т сталеплавильного шлака может быть получено до 250 кг железоуглеродистого сплава и 700 – 800 кг плавящего цементного клинкера. Получаемый клинкер предполагается подвергать сухой грануляции, а ме-

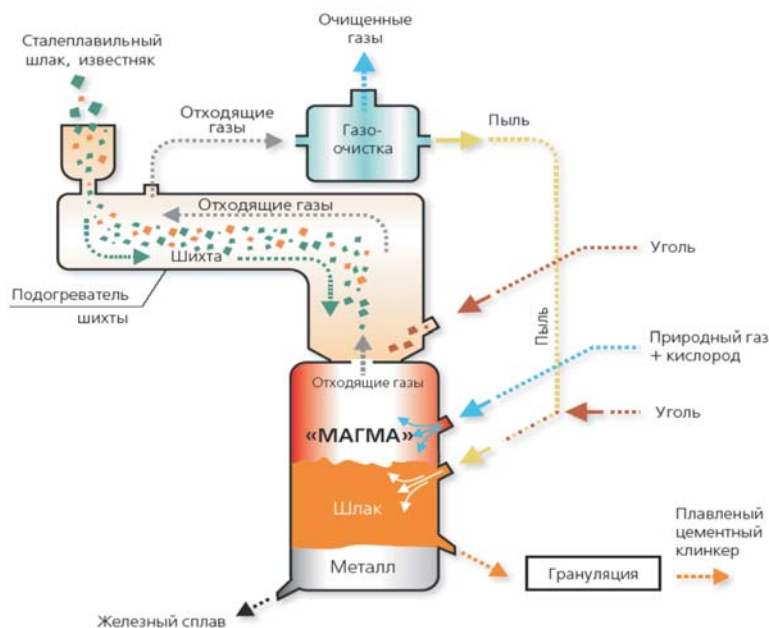


Рис. 1. Схема производства плавящего цементного клинкера

талл использовать как шихту для выплавки стали. Экономически целесообразно в качестве конечной продукции иметь на предприятии готовый портландцемент, размалывая гранулированный клинкер вместе с гипсом или гипсовым камнем. Суммарные затраты энергии на производство 1 т портландцемента из сталеплавленного шлака на 5 — 10 % ниже, чем при работе по схеме со спеканием природных материалов. Вместе со шлаком возможна переработка сталеплавленной пыли, образующейся при газоочистке, и замасленной окалины.

При размещении участка пирометаллургической переработки сталеплавленных шлаков близко от сталеплавленного цеха возможна схема работы с заливкой жидкого шлака в плавильный агрегат. В таком случае энергетические затраты значительно снижаются (на 20 — 25 %), а производительность агрегата возрастает.

Предлагаемая нами схема выгодна как экономически, так и экологически: производство безотходное, полностью утилизируются побочные продукты производства стали, извлекается и возвращается в оборот значительное количество безвозвратно теряемого железа.

Годовая производительность АПМ «МАГМА» по плавящему клинкеру составит до 300 тыс. т, по железнору сплаву — до 75 тыс. т.

Переработка шлаков производства меди и сплавов никеля на шлакокаменное литье

Шлакокаменное литье известно и используется начиная со второй половины 19 в. По некоторым свойствам шлакокаменные отливки даже лучше, чем металлические, в частности, по износостойкости, химической стойкости в кислотных и щелочных средах. Камнелитые материалы практически не подвергаются радиолизу, стойки к ионизирующему облучению, имеют малую проницаемость для радионуклидов вследствие очень низких значений коэффициентов диффузии в них.

В связи с этим несмотря на худшие литейные свойства, чем у металлов, и необходимость применения в большинстве случаев термической обработки для получения качественных шлакокаменных отливок, шлакокаменное литье имеет широкую область применения. Объемы его производства и сбыта в нашей стране могут быть достаточно велики.

Шлакокаменное литье может использоваться в горнодобывающей, металлургической, химической промышленности, энергетике, а также в огнеупорном производстве для футеровки поверхностей оборудования, подвергающегося интенсивному абразивному, гидроабразивному и агрессивному воздействию: бункеров, течек, же-

лобов, пульпопроводов, шлакопроводов, водоводов, конусных и щековых дробилок, шаровых и молотковых мельниц, гидроциклонов, скрубберов, покрытия полов промышленных зданий, элементов газо- и водоочистных сооружений, элементов тепловых агрегатов, работающих при температуре до 850 °С, бункеров, дымососов, реакторов, емкостей для хранения агрессивных материалов и т.д.

В строительстве шлакокаменное литье может применяться не менее широко. Это большие дорожные плиты, плиты для обустройства взлетно-посадочных полос, рельсовых путей и переэздов, бордюры, тротуарные плиты, фронтоны, облицовочная плитка и т.д.

Кроме того, из шлаков могут быть изготовлены:

- конструкции отделки подземных сооружений метрополитена, канализационных тоннелей, шахтных отводов, колодцев, коллекторов (тюбинги, блоки, кольца цельнолитые и комбинированные, облицовочные плиты, шпалы-коротыши для перегонов метрополитена в тоннелях и др.);
- защитная облицовка гидротехнических сооружений (облицовочные плиты, блоки для мостовых опор, плиты для подпорных стен набережных и др.);
- изделия для обустройства магистральных трубопроводов (утяжелители-пригрузки седловидные и кольцевидные);
- контейнеры цельнолитые для хранения радиоактивных отходов или высокотоксичных химических отходов.

Для производства шлакокаменного литья могут использоваться два типа сырья: горные породы или металлургические шлаки. Использование горных пород (природного минерального сырья) в производстве шлакокаменного литья нерационально по следующим причинам:

- добыча природного минерального сырья требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат, приводит к нарушению экологического равновесия, выводу из эксплуатации определенных площадей лесных или полевых угодий;
- выплавка шлака из природных горных пород связана с повышенными энергетическими затра-

тами, так как для получения гомогенного шлакового расплава требуется затратить энергию не только на нагрев и плавление шихты, но и на образование определенных химических соединений в шлаке.

По химическому и минералогическому составу для изготовления шлакокаменного литья пригодны шлаки пониженной и низкой основности (кислые шлаки). Доменные шлаки имеют пониженную основность и в принципе вполне пригодны для производства шлакового литья, но большая их часть (до 100 % в советское время) традиционно использовалась в производстве строительных материалов (шлакопортландцемента, шлакоблоков, шлакобетона и т.д.).

В то же время кислые шлаки заводов, производящих черновую медь и сплавы никеля, практически не используются и складываются в отвалах. Так, отвалы ОАО "Уфалейский никелевый комбинат" содержат до 20 млн т шлака, отвалы ОАО "Карабашский медеплавильный комбинат" — до 30 млн т шлака. Ежегодно эти отвалы принимают до миллиона тонн шлаков указанных комбинатов (см. табл. 1).

Расплавив такие шлаки в шлакоплавильном агрегате, можно без присадки добавок получить шлаковый расплав, пригодный для производства высококачественного шлакового литья.

Основная масса отвальных шлаков предприятий цветной металлургии находится в отвалах в виде гранулированного шлака. Такая форма нахождения шлака в отвалах облегчает его транспортировку, загрузку в шлакоплавильный агрегат и способствует быстрому расплавлению и соответственно снижению энергетических затрат.

Кроме того, отвальные шлаки содержат некоторое количество металлической составляющей: никеля и железа, или меди, железа и цинка. Металлическая составляющая таких шлаков, при их переплаве, может быть собрана на подине печи, слита отдельно от шлака и реализована предприятиям, производящим сплавы никеля или меди. Цинк может быть собран после его возгонки и также реализован. Все это позволит снизить себестоимость производимого шлакового литья.

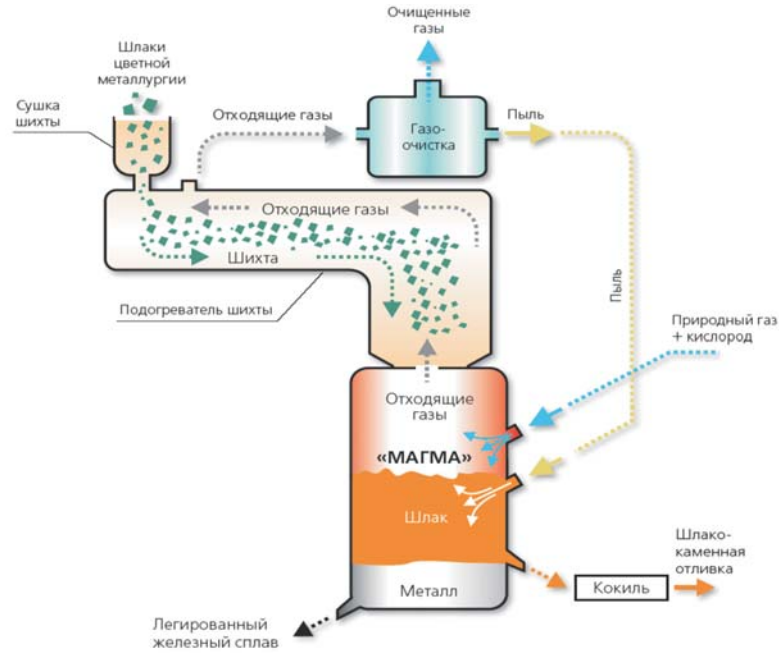


Рис. 2. Схема утилизации шлаков цветной металлургии

Для получения шлакокаменных расплавов пробовали использовать различные плавильные агрегаты: пламенные ванны регенеративные печи, вращающиеся роторные печи, шахтные печи, электрические дуговые печи, газовые конвертеры.

Главным недостатком применяющихся шлакоплавильных агрегатов является низкая стойкость огнеупорной футеровки. Расплавленные кислые шлаки или шлаки низкой основности при высоких температурах интенсивно разрушают любые огнеупорные материалы вследствие химического и механического взаимодействия с компонентами огнеупоров (при этом ухудшается и качество выплавляемого шлака). В результате футеровка быстро выходит из строя и плавильный агрегат приходится останавливать для ремонта.

В плавильной камере агрегата "МАГМА" шлак теплом работающих топливокислородных горелок расплавляется и нагревается до требуемой температуры, определяемой сортом производимого шлакового литья. Через систему сифонного выпуска готовый шлак непрерывно сливается в установленный под желобом шлаковый ковш. После наполнения шлаковый ковш переносится мостовым краном на разливочный стенд литейного конвейера. Вместо него под

сливной шлаковый желоб агрегата устанавливается пустой ковш.

Металл, оседающий из расплавленного шлака, накапливается на огнеупорной подине камеры и периодически сливается через специальную летку в ковш для приемки металла. На участке разливки металла жидкий металл разливается в шихтовые слитки или гранулируется.

Уловленная при газоочистке пыль вдувается в шлаковый расплав, находящийся в плавильной камере, и полностью утилизируется.

Шлаковое литье получают путем заливки шлака в чугунные многоразовые формы-кокили, установленные на литейном конвейере. В случае производства высококачественного литья шлаковые отливки армируются стальной проволокой. После кристаллизации отливок кокили разбирают, извлеченные из них отливки поступают в термические печи, где подвергаются обработке с целью снятия термических напряжений и исключения возможности образования трещин.

Отходы литого шлака (литниковые системы, прибыли, недоливки и др.) собираются, дробятся, затем либо отправляются потребителям в качестве высококачественного шлакового щебня, либо возвращаются в плавильный агрегат в качестве шихты.

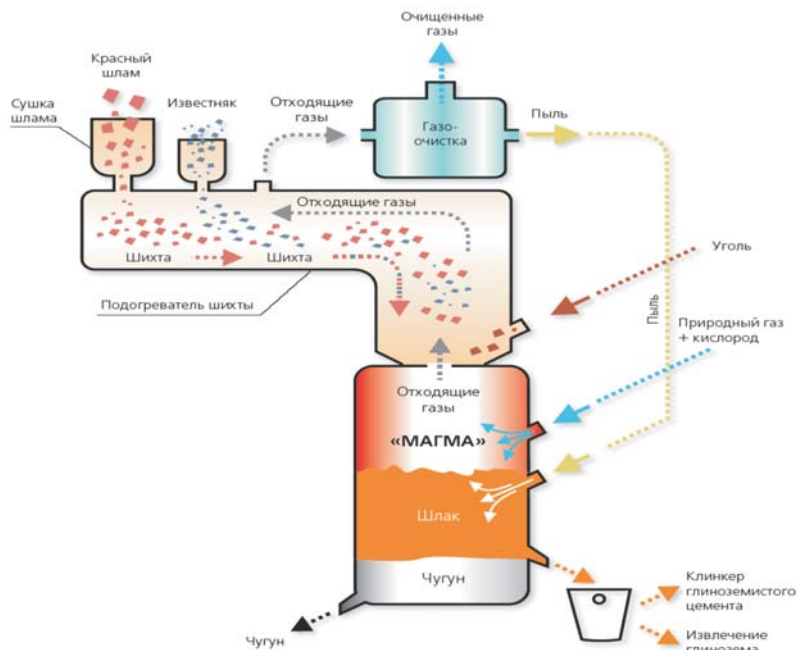


Рис. 3. Схема переработки красных шламов

Совместная переработка окисленных сталеплавильных и кислых шлаков производства меди и сплавов никеля

В случае отсутствия значительных по объему заказов на фасонное шлакокаменное литье экономически и экологически эффективной может быть безотходная переработка смеси окисленного сталеплавильного шлака и шлака производства меди и сплавов никеля (см. табл. 1) в соотношении 1:1. Для реализации такой схемы используется агрегат "МАГМА", оборудованный подогревателем шихты.

Подогретая смесь отвальных шлаков загружается в рабочее пространство плавильного агрегата на слой предварительно наплавленного шлака, где и расплавляется. Для восстановления оксидов железа в агрегат загружается энергетический уголь в количестве, немного превышающем расчетное. Восстановленное железо в виде чугуна оседает из шлака на подину агрегата, откуда накопившись периодически сливается в разливочный ковш. Если перерабатываются шлаки производства никеля возможно получение легированного никелем чугуна. При переработке медных шлаков чугун может быть легирован медью.

Восстановленный шлак по составу близок к составу доменного шлака и содержит, %: 41 — 51

(CaO+MgO); 45 — 55 (SiO₂ + Al₂O₃); 1 — 2 FeO.

Такой шлак периодически сливается из агрегата и гранулируется. После грануляции шлак используется в цементной промышленности при производстве цемента.

Уловленная в газоочистке пыль инжекторами вдувается в шлаковый расплав, находящийся в агрегате, и полностью им ассимилируется.

В результате осуществляется безотходная переработка отвальных шлаков. В качестве товарной продукции из 1 т шлаковой смеси производится: чугуна — 300 — 320 кг и гранулированного шлака для цементной промышленности — 400 — 500 кг. При нынешних высоких ценах на чугун (до 400 долл. США/т) и гранулированный шлак (до 25 долл. США/т) такая схема экономически очень выгодна. Следует учесть и экологический эффект, получаемый при ее реализации.

Переработка красных шламов

Трудности эффективной переработки красных шламов заключаются в следующем: красные шламы содержат много влаги (35 — 50 %), некоторое количество щелочи (до 1,5 % NaOH), в высушенном виде они представляют собой мелкодисперсный порошок. Использование агрегата "МАГМА" позволяет преодолеть эти трудности.

Процесс переработки "красного" шлама осуществляется в агрегате "МАГМА", оборудованном подогревателем, в котором шихтовые материалы (шлак, известняк) сушатся и подогреваются теплом отходящих технологических газов (рис. 3). Высушенные и нагретые до 900 — 950 °С шихтовые материалы загружаются на поверхность шлакового расплава и плавятся. Оксиды железа шлама восстанавливаются углем, загружаемым на поверхность шлакового расплава или вдуваемым в виде порошка в шлак специальными инжекторами. Агрегат отапливается мощными топливокислородными горелками. Уловленная в газоочистке пыль вдувается в шлаковый расплав, находящийся в агрегате.

Чугун, накопившийся на подине агрегата, сливается периодически в разливочный ковш. Восстановленный шлак (по составу клинкер глиноземистого цемента) сливается из агрегата через шлаковую лентку и гранулируется.

Производительность такого агрегата по проплавленному осушенному шламу составляет 300 — 320 тыс. т в год.

Процесс переработки красного шлама полностью безотходный. На 1 т переплавленного шлама производится 320 — 350 кг чугуна и 500 — 550 кг клинкера глиноземистого цемента. При переработке 1 т осушенного до влажности 10 % шлама расходуется: 170 — 200 кг энергетического угля, 50 — 100 кг известняка, 50 м³ природного газа и 100 м³ кислорода.

Приведенные примеры реализации схем переработки металлургических отходов свидетельствуют о возможности уменьшения или полного прекращения поступления металлургических отходов в отвалы, хранилища, отстойники путем эффективной безотходной переработки в агрегатах "МАГМА", позволяющей увеличить сырьевую базу металлургии, уменьшить добычу первичного металлургического сырья и улучшить экологическую обстановку в регионе. Перспективна и переработка существующих отвалов.

Капиталовложения в создание предприятий по безотходной переработке металлургических отходов окупаются в течение 3 — 5 лет в зависимости от используемой схемы их утилизации. ■