

В.П. УЛЬЯНОВ, канд. хим. наук, ст. научн. сотр., НТУ «ХПИ»,

В.И. БУЛАВИН, канд. хим. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

А.В. КРАМАРЕНКО, ст. преп., НТУ «ХПИ»,

И.В. УЛЬЯНОВА, инж., НТУ «ХПИ»,

Ю.В. ПЕРМЯКОВ, доц., НТУ «ХПИ»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРЕРАБОТКИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ ОСНОВНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА

В статье описана технологическая схема, обеспечивающая новую технологию восстановительной термообработки некондиционных железосодержащих пылей и шламов основных металлургических переделов ОАО «ММК» (Россия) с получением металлизированных окатышей. Приведены оптимальные технологические параметры переработки, ориентировочные показатели эффективности вложения инвестиций на внедрение технологии переработки и результаты расчета годового (ожидаемого) экономического эффекта от внедрения технологии переработки. Сделан ориентировочный прогноз себестоимости получения 1 тонны металлизированных окатышей.

Ключевые слова: технологическая схема, некондиционные железосодержащие пыли и шламы, металлизированные окатыши, переработка, накопительные емкости, трубчатая вращающаяся печь, циклонная печь, шахтный холодильник.

Введение. Нами разработана, испытана в опытно-промышленных условиях ОАО «НМЛК» новая эффективная технология переработки различных видов железосодержащих отходов водогазоочисток металлургических предприятий [1]. В основу технологии положен принцип: получение сырьевой смеси с высокой степенью однородности, ее окомкование и восстановительная термообработка. Основные компоненты – железосодержащие пыли и шламы (ЖПШ); вспомогательные – пылевые отходы обжига доломита, отходы производства извести, маслоотходы прокатного производства, общезаводские отработанные нефтепродукты, отходы КХП.

Термическую обработку сырьевой смеси производят во вращающейся печи, обеспечивающей противоточный восстановительный обжиг сырьевой смеси продуктами сжигания топлива в циклонной печи. Нефтепродукты, входящие в состав маслоокалиносодержащих отходов и общезаводские отработанные нефтепродукты обеспечивают возможность замены традиционного

© В.П. Ульянов, В.И. Булавин, А.В. Крамаренко, И.В. Ульянова, Ю.В. Пермяков, 2014

твёрдого восстановителя (кокс, уголь).

С учетом опыта применения разработанной технологии на ОАО «НЛМК» (Россия) и МК им. Ильича (Украина) нами выбран оптимальный вариант утилизации ЖПШ на ОАО «ММК» (Россия) – переработка их в металлизованный продукт с использованием вышеописанной технологии [1] и на её основе разработано технологическое задание (ТЛЗ) для выполнения проектной организацией рабочего проекта и проектно-сметной документации на строительные-монтажные работы установки подготовки и комплексной переработки некондиционных ЖПШ.

Изложение основного материала. При разработке ТЛЗ нами проведены исследования [2] по подготовке и комплексной переработке следующих типов некондиционных ЖПШ (данные по количеству и составу их представлены ТУ ОАО «ММК»):

1. Шламы после очистки доменного газа мокрым способом – кека после фильтрации шламов на дисковых вакуум-фильтрах в количестве 238 тыс. тонн в год. Фазовый состав кека следующий (масс. %): жидкая фаза (вода) – 16,00; твердая фаза (по сухой массе) – 84,00. Химический состав твердой фазы характеризуется следующими данными (здесь и ниже приведены средневзвешенные значения определений нескольких проб), (масс. %): FeO – 8,2; Fe₂O₃ – 59,7; SiO₂ – 6,8; Al₂O₃ – 1,45; CaO – 7,7; MgO – 0,89; P – 0,022; MnO – 0,17; S – 0,38; TiO₂ – 0,27; Cr₂O₃ – 0,011; K₂O – 0,19; Na₂O – 0,16; Zn – до 1,0; Pb – до 0,3.

2. Шламы после очистки конвертерного газа мокрым способом – шламовая пульпа (суспензия) перекачивается по временной схеме из шламосборника в гидрозолопородотвал ЦЭС (у г. Мохнатой).

В настоящее время на комбинате планируется введение системы фильтрации шламовой пульпы с получением кека в количестве 132 тыс. тонн в год с фазовым составом, (масс. %): жидкая фаза (вода) – до 30; твердая фаза (по сухой массе) – до 70. Химический состав твердой фазы следующий, (масс. %): FeO – 50,3; Fe₂O₃ – 21,6; SiO₂ – 2,3; CaO – 16,8; MnO – 0,48; P – 0,62; S – 0,19; Zn – до 1,5; K₂O – 0,14; Na₂O – 0,17; C – 0,25; Pb – до 0,2.

3. Во вторичных очистных сооружениях цеха водоснабжения комбината выпадает мелкодисперсная окалина (водомаслоокалиносодержащий шлам) прокатных цехов, в количестве 23,786 тыс. тонн в год.

Выполненный нами химический анализ показал, что замасленный шлам представляет собой сложную гетерогенную систему, которая характеризуется

следующим фазовым составом, (масс. %):

- содержание нефтепродуктов – $8,3 \div 30,2$;
- содержание твердой фазы – $40,3 \div 71,7$;
- содержание воды – $15,0 \div 20,0$.

В твердой фазе замасленного шлама присутствуют $0,06 \div 0,09$ (масс. %), редко до 1,5 (масс. %), оксиды кальция, магния, алюминия, кремния. Появление их обязано разрушением огнеупорных футеровок, попаданию пылей из атмосферного воздуха.

Вторичная обмасленная прокатная окалина практически на 100 % состоит из класса минус 160 – минус 74 мкм.

По химическому составу твердая часть шламов прокатного производства представляет собой практически чистый магнетит.

4. Пыль колошниковая (влажность до 10 %), уловленная при очистке доменного газа сухим способом, в количестве 152,32 тыс. тонн в год. Химический состав пыли следующий, (масс. %): FeO – 18,0; Fe₂O₃ – 52,0; SiO₂ – 7,8; Al₂O₃ – 2,5; CaO – 10,2; MgO – 2,4; Zn – 0,34; S – 0,5; Pb – до 0,04.

5. Пыль от очистки технологического газа ДСП (уловленная в процессе производства стали в электропечах), в количестве 77,8 тыс. тонн в год. Химический состав пыли следующий, % (масс.): Fe_{общ} – 57,8; SiO₂ – 8,4; Al₂O₃ – 1,2; CaO – 10,2; MgO – 2,2; Mn – 2,0; Cr – 0,25; Zn – 1,43; Pb – до 0,7.

Создаваемая установка предназначена для переработки основного сырья (состав и количество его приведены выше) и вспомогательного – пыли известковой (отход производства извести) или доломитной (отход обжига доломита) с целью получения основного (металлизованного) продукта и попутного – цинкового концентрата – включает в себя две самостоятельные технологические линии. Технологическая схема, (рис. 1) обеспечивающая технологию переработки, состоит из трех основных узлов: первый связан с приемкой и хранением основного и вспомогательного сырья, их смешением и окомкованием сырьевой смеси, второй – с термообработкой окомкованного продукта, охлаждением металлизованного продукта и его отгрузкой потребителю.

На схеме приняты следующие условные обозначения: 1 – грейферный кран; 2 – накопительная емкость железосодержащих пылей; 3 – накопительная емкость железосодержащих шламов; 4 – накопительная емкость шламов прокатного производства; 5 – накопительная емкость бентонитовой глины; 6, 7, 8, 9, 10 – загрузочная воронка бункера; 11 – расходный бункер железосодержащих пылей; 12 – расходный бункер железосодержащих шламов;

13 – расходный бункер шламов прокатного производства; 14 – осадитель известкосоудержающей пыли; 15 – расходный бункер отходов КХП; 16 – дозирующее устройство; 17, 18, 19 – смеситель; 20 – окомкователь; 21, 29 – элеватор ковшевой; 22 – конвейер ленточный; 23 – трубчатая вращающаяся печь; 24 – циклонная печь; 25 – холодильник; 26 – бункер – накопитель шлака; 27, 33 – воздуходувка; 28, 32, 44 – конвейер винтовой; 30 – бункер – накопитель металлизированного продукта; 31, 38 – циклон; 34 – шламовый насос; 35 – сборник жидких маслоотходов; 36 – дожигающее устройство циклонного типа; 37 – котел – утилизатор; 39 – рукавный фильтр; 40 – дымосос; 41 – загрузочная воронка; 42 – накопитель пыли; 43 – смеситель – микроокомкователь; 45 – питатель дисковый.

Поставка основного и вспомогательного сырья к установке осуществляется, соответственно, автосамосвалами и автоцементовозами. Выгрузка ЖПШ производится в соответствующие накопительные емкости, откуда грейферным краном 1 подаются к бункерам смесительных агрегатов.

Накопительные емкости рассчитываются на суточный запас каждого вида ЖПШ и вспомогательного сырья.

Пыль известковая подается в расходный бункер – осадитель 14 пневмотранспортом. Железосодержащие пыли из накопительной емкости 2 подаются через загрузочную воронку 6 в расходный бункер 11, а железосодержащие шламы (кроме шлама прокатного) из накопительной емкости 3 через загрузочную воронку 7 – в расходный бункер 12. Доменный и конвертерный шламы перед поставкой на установку переработки должны быть обезвожены до соответствующей влажности.

В настоящее время технологическая схема подготовки шламов, поступающих от мокрой газоочистки доменных печей, включает в себя радиальные отстойники и вакуум – фильтрационные установки (ВФУ).

Последовательность поступления шламовой суспензии следующая.

Шламы в количестве $900 \text{ м}^3/\text{ч}$ с содержанием взвешенных частиц $30 \div 40$ г/л насосами марки ГРАТ 450/67 перекачиваются по двум трубопроводам $\varnothing 300$ мм из радиальных отстойников в приемную камеру ВФУ.

Из приемной камеры суспензия самотеком поступает в сгустители, основным условием работы которых является непрерывность и равномерность процесса сгущения.

Сгущенный шлам с содержанием твердой фазы не менее 200 г/л перекачивается насосами ГРК 160/31,5 в пульпоотделитель отделения фильтрации.

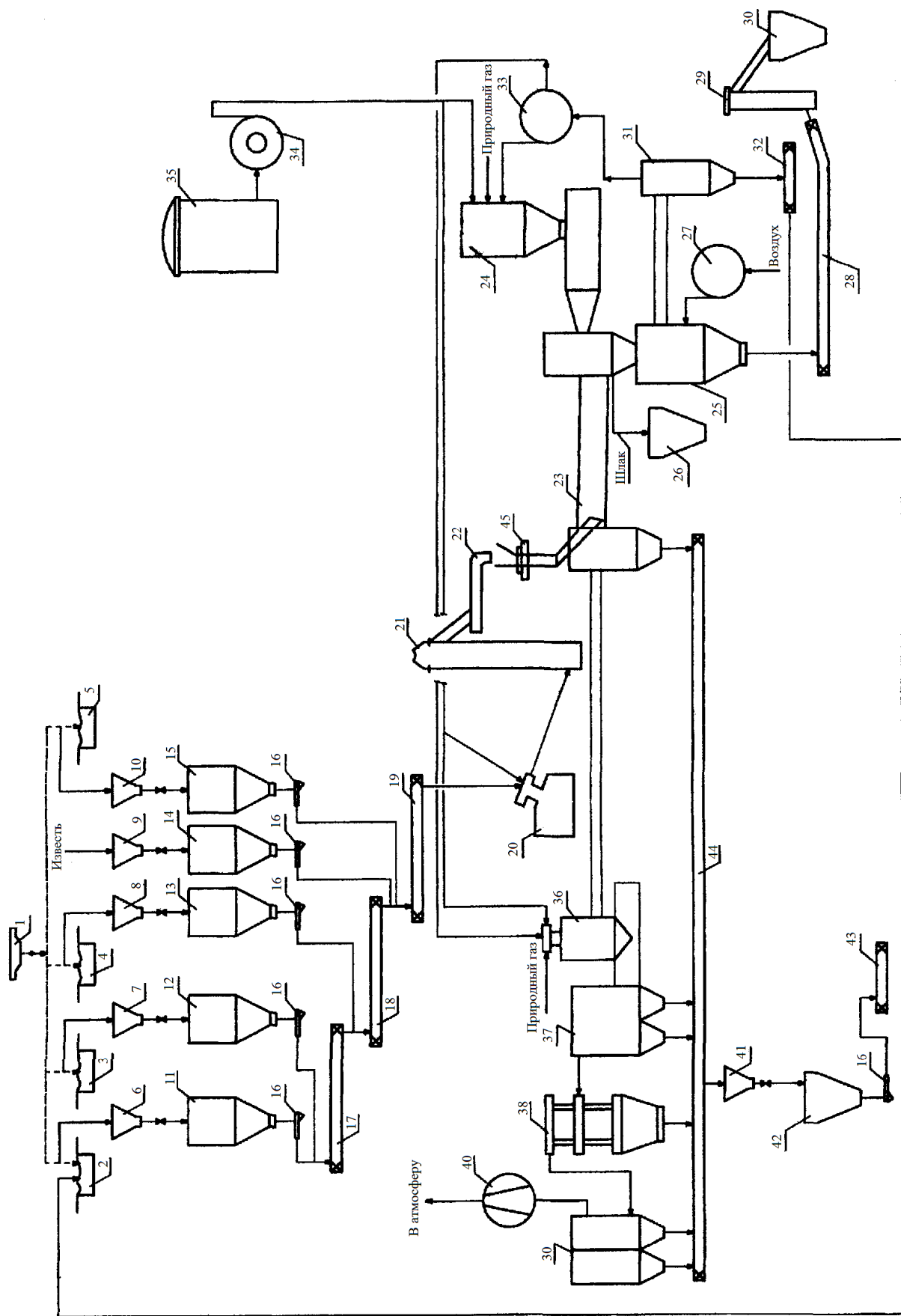


Рис. 1 – Технологическая схема переработки некондиционных ЖПШ основных металлургических переделов

Из пульпоотделения сгущенный шлам, с содержанием твердой фазы $400 \div 800$ г/л, самотеком поступает на дисковые вакуум – фильтры Ду-100/2,5.

Установлено три технологические линии, в каждой из которых находится по четыре вакуум – фильтра.

Образующийся после фильтрации шлама кек (с влажностью $15 \div 17$ %) сбрасывается на конвейер и подается в сушильное отделение, состоящее из технологических линий, каждая из которых оборудована сушильным барабаном.

Высушенный шлам, с влажностью $6 \div 8$ %, направляется на аглофабрику.

Шламодовая суспензия мокрых газоочисток ККЦ самотеком по шламопроводам поступает в бункеры улавливания крупных фракций, после чего подается через камеру дегазации в радиальные отстойники, а оттуда периодически выпускается в общий шламовый резервуар.

Из шламособорника шламовая пульпа перекачивается через повысительную насосную станцию (ПНС-1) в гидрозолопородоотвал ЦЭС (у г. Мохнатой).

С целью утилизации конвертерных шламов на комбинате предусматривается введение системы их обезвоживания и фильтрации с получением кека с влажностью не более 30 (масс. %).

Следует подчеркнуть, что по предлагаемой нами технологической схеме переработки ЖПШ сушка доменного и конвертерного кеков не требуется.

Железосодержащие пыли и шламы, соответственно, из расходных бункеров 11 и 12 с помощью дозирующих устройств 16 подаются вначале в смеситель 17, а оттуда – в смеситель 18, куда также дозируется из расходного бункера 13 прокатный шлам.

Смесь ЖПШ из смесителя 18 поступает в смеситель 19 для смешения с известьсодержащей пылью и отходами КХП или с порошком бентонита.

Из смесителя 19 сырьевая смесь подается в окомкователь 20, в который из сборника 35 (участок приема и подготовки жидких маслоотходов) форсункой, через расходомер, впрыскиваются маслоотходы (или отработанные масла).

Окомкованный продукт ковшевым элеватором 21 и ленточным конвейером 22 направляется дисковым питателем 45, через загрузочный бункер, во вращающуюся трубчатую печь 23 для термообработки.

Термообработка производится в противотоке с продуктами сжигания в

циклонной печи 24 природного газа (вначале) и маслоотходов, поступающих с помощью насоса 34 из сборника 35.

Образующиеся в результате термообработки основной (металлизированные окатыши) продукт и шлак на откатной головке печи разделяются: металлизированный продукт поступает для охлаждения в шахтный холодильник 25, после чего направляется транспортирующими устройствами 28 и 29 в бункер – накопитель 30 для последующей отправки потребителю, а шлак – в бункер – накопитель 26.

Отходящий от холодильника 25 нагретый воздух с помощью дутьевого вентилятора 27 направляется через циклон 31 в циклонную печь 24.

Отходящие от вращающейся печи 23 газы поступают в дожигающее устройство 36 циклонного типа, в котором обеспечивается окисление возгонов цинка и свинца, оксида углерода, за счет подачи природного газа и маслоотходов, поступающих из сборника 35, в пилотные горелки и дополнительного нагретого воздуха, отбираемого из шахтного холодильника 25.

Отходящие газы от дожигающего устройства 36 вначале подступают в котел – утилизатор 37, а из него – на газоочистку, состоящую из циклона 38 и двухступенчатого рукавного фильтра 39 с импульсной регенерацией и обеспечивающую очистку газов до остаточной концентрации пыли не более 10 мг/м^3 (запыленность перед котлом – утилизатором составляет $4,0 \text{ г/м}^3$, перед циклоном – $1,3 \text{ г/м}^3$, перед рукавным фильтром $0,50 \text{ г/м}^3$).

Пылевидный продукт распределяется по крупности в котле – утилизаторе (фракция $150 \div 100 \text{ мкм}$ – 8 %), в циклонах (фракция $100 \div 80 \text{ мкм}$ – 46,5 %), в рукавном фильтре (фракция $80 \div 20 \text{ мкм}$ – 43,5 %), перед дымососом (фракция $20,0 \div 0,5 \text{ мкм}$ – 2 %).

Пыль котла – утилизатора и газоочистки винтовым конвейером 44 подается в накопительный бункер 42, после чего микроокомковывается в смесителе 43, затаривается и отправляется потребителю.

В соответствии с технологической схемой (рис. 1) к элементам основного оборудования подготовки и переработки относятся: 1) нестандартное оборудование: накопительные емкости основного и вспомогательного сырья, трубчатая вращающаяся печь (две печи), циклонная печь (две печи), шахтный холодильник (в количестве двух), циркуляционная установка подготовки маслоотходов, бункера – накопители продуктов переработки ЖПШ, дожигающее устройство (в количестве двух); стандартное оборудование – расходные бункера основного и вспомогательного сырья (в количестве двенадцати), грей-

ферный кран, дозирующие устройства, смесители (в количестве 6), окомкователи (в количестве двух), котел – утилизатор (в количестве двух), элеваторы, ленточные и винтовые конвейера.

Выбор оборудования произведен по результатам исследований по комплексной переработке ЖПСШ.

Трубчатая вращающаяся печь представляет собой барабан, выполненный из стали 3 толщиной $25 \div 35$ мм, располагающейся под углом $2 \div 3^\circ$ к горизонту, чтобы шихта могла передвигаться при вращении барабана от верхнего загрузочного конца к нижнему.

Расчетная скорость вращения составляет $0,65 \div 1,30$ об/мин.

По всей длине печь должна быть зафутерована огнеупорным кирпичом. Зона высоких температур и места (зоны восстановления и формирования структуры металлизированного продукта, примерно 0,7 длины печи от разгрузочного конца), подверженные химическому разъеданию шлаковым расплавом, должны быть выложены хромомагнезитовым огнеупором на подкладке из шамотного кирпича, толщиной 65 мм, марки ШБ-22 (или ШБ-23) выполняющего роль теплоизолирующего слоя во избежание перегрева кожуха печи.

Менее ответственный участок печи – зону сушки (протяженность этой зоны составляет $25 \div 30$ % от общей длины печи) шихты футеруют шамотным кирпичом, толщиной 230 мм.

Печь должна быть помещена на катки, установленные на две опоры. Одну из них совмещают с приводом печи от электродвигателя АО 94-8-6-6-4 мощностью 40 кВт через редуктор и венцовую шестерню, укрепленную на барабане печи.

Топка циклонной печи представляет собой вертикально установленный цилиндр диаметром 2,26 м и высотой – 4,46 м с рабочим объемом пространства $3,5 \text{ м}^3$. Внутренняя поверхность топки имеет огнеупорную кладку, состоящую из рабочего слоя – хромомагнезита и теплоизоляционного, динасового легковеса ДЛ-1,2. Толщина кладки топки составляет 0,47 м.

В верхней части цилиндра топки в горизонтальной плоскости тангенциально расположены четыре газовые горелки предварительного смешения к которым подведены трубопроводы газа и воздуха.

В том же ярусе под газовыми горелками под углом 90° к ним радиально установлены четыре центробежные форсунки низкого давления ЗК6 (конструкция НИИХиммаша, Россия) для распыления и сжигания жидких маслоотходов. Расстояние между поясом газогорелочных устройств и форсунок

должно составлять 0,5 м. Подача маслоотходов осуществляется с помощью ротационно – поршневого насоса НУЖ-150 по трубопроводу из участка приема и подготовки маслоотходов.

Сжигание жидких маслоотходов в циклонных печах предъявляет высокие требования к организации циклонного процесса, которые заключаются в тонком распыливании маслоотходов, хорошем смесеобразовании, обеспечивающих их интенсивное и высокоэффективное сгорание.

Такой режим сгорания обеспечивается, прежде всего, тщательной подготовкой маслоотходов перед их подачей в циклонную топку. Сжигание в циклонной топке неподготовленных (сильно обводненных) маслоотходов приводит к ее неустойчивой работе, нарушению теплового режима и снижению температуры в топке (с 1000 ÷ 1250 до 300 °С), что требует для компенсации тепла большого (в 3 – 5 раз) расхода природного газа.

К тому же резкое колебание температур оказывает отрицательное влияние на состояние футеровки в печи (появление трещин, разрушение связывающего материала, выпадение кирпичей).

Для самостоятельного сжигания маслоотходов (без расхода основного топлива) их подготавливают таким образом, чтобы содержание горючих компонентов составляло 60 ÷ 80 (масс. %) (теплотворная способность таких маслоотходов составляет до 17 тыс. кДж/кг).

С этой целью маслоотходы из вторичных отстойников прокатных станов закачиваются насосом в приемные маслосборники (баки с мешалкой и устройством для подогрева) циркуляционной установки подготовки, где они отстаиваются и разделяются на масла и воду.

Вода из сборников с содержанием масел до 50 мг/л и механических примесей до 55 мг/л сливается и направляется в прокатные цехи на повторное использование – промывку клетьевых станов и маслоподвалов.

Частично обезвоженные маслоотходы с содержанием масел 60 ÷ 80 % тщательно перемешивают в баках для получения однородной системы и равномерного распределения механических примесей.

С целью надежной работы насосов и нормального распыла маслоотходов форсунками их вязкость должна быть не выше 5 ВУ (38 Сст), а размер частиц механических примесей не должен превышать 20 мкм.

Для этого маслоотходы подогревают в баках оснащенных мешалкой и обогреваемым змеевиком, расположенным по периметру внутренней стенки, паром до температуры 60 ÷ 80 °С и фильтруют их перед подачей в циклонную

топку (фильтры устанавливаются в горловине приемной емкости).

Шахтный холодильник металлизированных окатышей выполняется из литых жаростойких колосников с наклонными рабочими поверхностями, образующими воздухопроницаемую жалюзийную решетку, удерживающую слой охлаждаемой продукции.

Воздух подается в слой через перфорированные воздушные балки, равномерно расположенные по высоте.

Охлаждаемый материал поступает из печи в холодильник из откатной головки.

Для предотвращения попадания в холодильник крупных фракций и спеков (в основном, шлаков солей: сульфатов натрия, калия, кальция, силиката и фосфата кальция) на откатной головке вращающейся печи предусмотрены колосники.

Внутренние элементы холодильника заключены в металлический футерованный кожух. В печь из холодильника воздух поступает в верхней части через жалюзийные решетки. Избыточный воздух отбирается через патрубки в боковых стенках.

Для подачи воздуха в балки холодильника предусматривается вентилятор ВОН-9 с электродвигателем 4А-1608-4, N = 15 кВт, n = 1500 об/мин.

Для отбора горячего воздуха из холодильника и подачи его в фурмы и горелки дожигающего устройства и циклонной печи устанавливается дымосос ДН-10 с электродвигателем 4Н-180М-4, N = 30 кВт, n = 1500 об/мин.

В установке переработки ЖПШ предусмотрено использование тепла отходящих от дожигающего устройства дымовых газов в серийно выпускаемом котле – утилизаторе с получением перегретого пара.

Основными параметрами, обеспечивающими работу котла – утилизатора, являются количество и температура дымовых газов, поступающих в котел.

Для соблюдения определенной температуры газов перед котлом дымовые газы после дожигающего устройства разбавляют атмосферным воздухом в специальном устройстве котла.

Для предупреждения зарастания котел должен быть оборудован импульсной очисткой.

Газоходы, предназначенные для отвода газов от вращающейся печи на дожигающее устройство, от него на котел – утилизатор, и, далее – на газоочистку, представляют собой цилиндры диаметром 1,73 м, внутренняя поверхность которых имеет огнеупорную кладку из легковесного шамота.

В установке предусмотрена двухступенчатая очистка дымовых газов от котла – утилизатора:

- первая ступень предварительной очистки газов в одиночном циклоне (типовом) типа ЦН-15У (конструкции НИИГаз),

- вторая ступень тонкой очистки в рукавных фильтрах с импульсной регенерацией типа ФРИР конструкции УкрГНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ».

Рукава фильтров изготавливаются из плотного материала типа полиэфирного фетра с каркасом из филаментных нитей, что обеспечивает высокую степень пылеулавливания и снижение остаточной концентрации (не более 10 мг/м^3) пыли после очистки. Фильтры размещаются на открытом воздухе с укрытием только верхней части.

В них предусмотрено одностороннее верхнее крепление рукавов, что упрощает эксплуатацию фильтров; замена рукавов с верхним креплением проста, нетрудоемка и проводится с крыши фильтра через камеру чистого газа, без входа внутрь фильтра и контакта с запыленной и загазованной средой.

Основные узлы и детали фильтра унифицированы и взаимозаменяемы, что позволяет комплектовать различные типоразмеры фильтров в широком диапазоне производительности и исполнения.

Расходные бункеры, смесители, окомкователи, элеваторы, ленточные и винтовые конвейера, насосы подачи, дозаторы выбираются по каталогу в соответствии с технологическими параметрами (табл. 1).

Значения оптимальных параметров комплексной переработки ЖПШ с получением металлизированных окатышей и утилизацией тепла отходящих газов приведены в табл. 1. Техничко-экономические показатели, характеризующие новую технологию переработки ЖПШ с получением товарной продукции приведены в табл. 2.

Принимаются следующие данные: количество технологических линий переработки – 2; производительность 1-й технологической линии по сырьевой смеси ЖПШ – 311953 т/год; производительность 1-й технологической линии по металлизированным окатышам – 178332 т/год; количество получаемых металлизированных окатышей – 356663 т/год; численность персонала, обслуживающего корпус переработки – 47 человек; средняя заработная плата в месяц – 20000 руб; капитальные затраты – 243068000 руб.

На основании приведенных выше технико-экономических показателей была произведена оценка [3] необходимости внедрения новой технологии переработки ЖПШ с точки зрения экономической целесообразности и, прежде

Таблица 1 – Оптимальные технологические параметры комплексной переработки некондиционных железосодержащих пылей и шламов ОАО «ММК»

Наименование параметров	Единицы измерений	Количество
1	2	3
Количество технологических линий переработки	–	2
Производительность одной технологической линии по сырьевой смеси ЖПШ	т/ч т/год	35,61 311953
Производительность одной технологической линии по металлizadosанным окатышам	т/ч т/год	20,36 178331,50
Расход бентонитовой глины (в порошкообразном виде) для приготовления сырых окатышей	кг/ч т/год	264,6 2318
Расход пылевидных отходов производства извести или обжига доломита	кг/ч т/год	407,5 ÷ 679,0 3570 ÷ 5949
Соотношение (массовое) в смеси шлама прокатного и смеси других типов ЖПШ	–	(0,04 ÷ 1,0) : 1
Соотношение (массовое) пылевидных отходов производства извести или обжига доломита и смеси ЖПШ (с влажностью 9 ÷ 15 %), необходимое для приготовления сырых окатышей	–	(0,006 ÷ 0,0095) : 1
Расход отработанных масел на окомкование сырьевой смеси	л/т смеси	4,5 ÷ 5,0
Расход сырых (окомкованных) окатышей на восстановительный обжиг в одной вращающейся печи	т/час	36,0
Удельная нагрузка циклонной топki по маслоотходам	т/м ³ ч	0,4 ÷ 0,6
Оптимальная тонина распыла (средний диаметр капель) маслоотходов	мкм	175 ÷ 400
Содержание масел в подготовленных маслоотходах (теплотворная способность – до 17 тыс. кДж/кг)	масс. %	60 ÷ 80
Удельная тепловая нагрузка рабочего объема циклонной топki	кДж/м ³ ч	(6,3 ÷ 8,4)·10 ⁶
Температура маслоотходов, подаваемых в циклонную топку	°С	60 ÷ 90
Давление маслоотходов на входе в циклонную топку	МПа	1,96 ÷ 2,46
Расход природного газа (теплотворная способность $Q^H_p = 8100$ ккал/м ³):		
– в циклонную печь	м ³ /ч	50
– в дожигающее устройство	м ³ /ч	50
Расход питательной (химически очищенной) воды	м ³ /ч	11,9
Давление питательной воды на входе в котел – утилизатор	кПа	0,25

Продолжение табл. 1.

1	2	3
Расход охлаждающей воды на горелки циклонных топок	м ³ /ч	18
Общий расход сжатого воздуха	нм ³ /ч	250
Давление сжатого воздуха	МПа	0,6
Общий расход вентиляторного воздуха, поступающего в холодильник:		> 6,6
– отбор в циклонную топку	нм ³	1,6 – 4,8
– отбор в дожигающее устройство	нм ³	4,8 – 5,0
Давление вентиляторного воздуха	кПа	4,9
Коэффициент расхода воздуха на сжигание топлива в циклонной топке	–	0,7 – 0,95
Температура теплоносителя на входе во вращающуюся печь	°С	1200 – 1250
Температура отходящих от вращающейся печи продуктов обработки сырых окатышей	°С	450 – 500
Коэффициент расхода воздуха на сжигание в дожигающем устройстве	–	1,1 – 1,2
Температура в дожигающем устройстве	°С	950 – 1000
Температура газов перед котлом – утилизатором	°С	800 – 850
Температура газов на входе в циклон	°С	Не более 250
Температура газов на входе в рукавный фильтр	°С	Не более 150
Температура металлизированных окатышей после охлаждения в шахтном холодильнике	°С	Не более 50
Выход пара (P = 2,4 МПа, t = 370 °С) из котла – утилизатора	т/ч	7
Распределение разрежений (остаточных давлений) по тракту от циклонной топки до газоочистки:	Па	
– в циклонной топке		20 ÷ 30
– в газоходе после циклонной топки		50 ÷ 60
– в откатной головке		80 ÷ 100
– на входе во вращающуюся печь		140 ÷ 160
– в газоходе после дожигающего устройства		450 ÷ 550

всего, с оценки эффективности вложения инвестиций и расчета годового ожидаемого экономического эффекта от внедрения новой техники. Результаты оценки (табл. 3 и 4) показали положительную тенденцию внедрения новой технологии переработки ЖПШ.

Основной продукт, – металлизированный продукт, – характеризуется [2] прочностью на раздавливание 218 кг/окатыш, незначительной истираемостью

(выход фракции $0,5 \div 0$ мм – до 0,3 %), степенью металлизации 98 %, содержанием цинка – не более 0,01 (масс. %).

Таблица 2 – Ориентировочный прогноз себестоимости получения 1 т металлизированных окатышей путем термической переработки обезвоженных ЖПШ ОАО «ММК» с использованием новой технологии

Наименование статей затрат	Расход ЖПШ и материалов для приготовления сырьевой смеси; энергоносителей		Эксплуатационные затраты на производство металлизированных окатышей			
	Всего, т/год	Удельный, кг/т мет. ок	Единица измерений	Цена ^{*)} за единицу измерения, руб.	Общие затраты, тыс. руб/год	Удельные затраты, руб/т мет. ок.
1	2	3	4	5	6	7
ЖПШ, т:						
– пыль колошниковая (влажн. до 10 %)	152320	427,0	–	–	–	–
– пыль от очистки технологического газа ДСП (влажн. 0 %)	77800	218,1	–	–	–	–
– шлам мокрой очистки доменного газа (влажн. до 9,4 %)	238000	667,3	–	–	–	–
– шлам от очистки технологического газа конвертерного производства (влажн. до 30 %)	132000	370,1	–	–	–	–
– замасленный шлам прокатного производства (нефтепродукты шламовосстановитель)	23786	66,7	–	–	–	–
ИТОГО ЖПШ	623906	1749,2	–	–	–	–
ФЛЮСЫ, т:						
Пылевидные отходы производства извести или обжига доломита	5172	14,50	–	–	–	–

Продолжение табл. 2.

1	2	3	4	5	6	7
БЕНТОНИТ, т	2318	6,50	т	1563,00	3623,03	10,16
ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ:						
– маслоотходы (восстановитель)	3504	9,82	–	–	–	–
– природный газ, тыс. м ³	1752	4,91 м ³ /т	тыс. м ³	1207,79	2116,05	5,93
– электроэнергия, тыс. кВт·ч	10000	28 кВт·ч/т	тыс. кВт·ч/т	1292	12920,00	36,22
ВОДА (на охлаждение горелок)	78466	0,22 м ³ /т	тыс. м ³	389,26	30,54	0,09
Питательная (химочищенная) вода для котла – утилизатора	104000	0,29 м ³ /т	м ³	15,80	1643,20	4,61
Сжатый воздух, м ³ /час	219000	0,61 м ³ /т	–	–	32,97	0,09
АМОРТИЗАЦИЯ вводимых фондов	–	–	–	–	22362,26	62,70
Текущий ремонт и содержание вводимых основных средств	–	–	–	–	17889,81	50,16
ФОТ	–	–	–	–	11280,00	31,63
Побочная продукция:	66500	0,186	–	–	-14879,4	-41,72
– производство пара (18 атм) за счет утилизации тепла отходящих газов, тыс. Гкал.		Гкал/т				
Производственная себестоимость 1 т металлизированных окатышей					159,87	

*) Данные по стоимости представлены ОАО «ММК».

По физико-механическим и металлургическим свойствам, химическому и гранулометрическому составу продукт удовлетворяет современным требованиям (ТУ 14-1-3736-84), предъявляемым к товарному железосодержащему сырью, используемому в доменном и сталеплавильном производствах [4].

Попутный продукт, – цинковый концентрат (содержание цинка – не менее 46,0 (масс. %) [2]) рекомендуется, в соответствии с техническими требованиями (содержание цинка – не менее 10 (масс. %), содержание железа – не более 30 (масс. %)) ВНИИЦветмета (г. Усть-Каменогорск, Россия), использовать в цветной металлургии в качестве исходного сырья для производства цинка, а также в качестве добавки к шихте при производстве стекла.

Таблица 3 – Ориентировочные показатели эффективности вложения инвестиций на внедрение технологической комплексной переработки ЖПС ОАО «ММК» с получением металлизированных окатышей

Наименование показателей	Единицы измерения	Количество	Примечание
Срок окупаемости (Т) инвестиций	Год	0,3	В расчетах других показателей принимается срок окупаемости 1 год
Общая денежная масса (П) от реализации получаемой продукции (металлизированных окатышей)	Руб/год	1134188340	Реализация по цене (3180 руб/т) металлизированных окатышей ОАО «ОЭМК»
Чистая прибыль (Пч)	Руб/год	793931838	–
Показатель финансовой реализуемости (ФРИ) вложения инвестиций	Руб	301020900	ФРИ > 0
Потребность в дополнительном финансировании (ПФ)	Руб	-573226098	Потребность в дополнительном финансировании не требуется, т.к. ПФ = -573226098 руб
Индекс доходности инвестиций (ИД)	–	3,36	–
Индекс доходности затрат (ИДЗ)	–	1,98	–
Точка безубыточности (уровень доходности) (Тб)	т	17930,7	При производстве 356663 т/год металлизированных окатышей уровень безубыточности наступит после реализации 17930,7 т продукции
Индекс рентабельности (JR)	–	4,67	Вложение инвестиций эффективно, т.к. 4,67 > 1

Выводы.

Для утилизации железо- и цинкосодержащих отходов основных металлургических переделов ОАО «ММК» разработана технологическая схема, обеспечивающая новую технологию комплексной переработки отходов с получением товарной металлизированной продукции.

Технология соответствует научному и техническому уровню лучших зарубежных аналогов, но имеет преимущество в том, что в ней используется не

твердый, а жидкий восстановитель, что обеспечивает получение металлizedованного продукта с высокой степенью металлизации и не содержащего вредных примесей; является ресурсо- и энергосберегающей, исключает угрозу окружающей среде и может быть использована для переработки всех видов железосодержащих пылей и шламов черной металлургии как в текущем выходе, так и в накопленном состоянии.

Таблица 4 – Результаты расчета годового (ожидаемого) экономического эффекта от внедрения технологии комплексной переработки ЖПС ОАО «ММК» с получением металлizedованных окатышей

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Показатели базового варианта	Показатели после внедрения предлагаемой технологии
Количество получаемых металлizedованных окатышей	A_1, A_2	т/год	192308	356663
Капитальные затраты на создание установки (без НДС)	K_1, K_2	Руб	1406329700	247268000
Производственная себестоимость единицы металлizedованной продукции	C_1, C_2	Руб/т	2066,95	159,87
Удельные капитальные затраты на создание установки	$У_1, У_2$	Руб/т	7312,9	693,3
Оптовая цена единицы массы получаемой продукции ОАО «ММК»	Ц	Руб/т	3180	3180
Планируемая прибыль от реализации металлizedованной продукции	П	Руб/т	–	1077168626
Годовой (ожидаемый) экономический эффект	$Э_1, Э_2$	Млн. руб/год	–	1034,3 (1040,0)

Список литературы: 1. Ульянов В.П. Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов / [В.П. Ульянов, В.И. Булавин, В.Я. Дмитриев и др.] // Сталь. – 2002. – № 12. – С. 69 – 75. 2. Пат. 2404271 Российская Федерация. МПК⁷ С 22 В 7/00, С 22 В 19/30. Способ переработки некондиционных железосодержащих отходов металлургического производства / Ульянов В.П., Дьяченко В.Ф., Артамонов А.П., Гибадулин М.Ф., Ульянова И.В., Смирнов А.С.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». – № 2009107657/02; заявл. 03.03.09; опубл. 20.10.10, Бюл. № 32. 3. Ульянов В.П. Экономиче-

ская оценка технологического процесса комплексной переработки железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов с получением металлизированных окатышей / [В.П. Ульянов, В.И. Булавин, И.В. Ульянова и др.] // Интегровані технології та енергозбереження. – 2013. – № 1. – С. 91 – 95. **4.** Ульянов В.П. Углетермическое восстановление оксидов железа пылей и шламов основных металлургических переделов с получением металлизированных окатышей / [В.П. Ульянов, В.И. Булавин, А.В. Крамаренко и др.] // Интегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 1. – С. 84 – 89.

Bibliography (transliterated): **1.** Ul'yanov V.P. Recycling substandard ferrous dusts and sludges metallurgical processes / [V.P. Ul'yanov, V.I. Bulavin, V.Ya. Dmitriev et all.] // Steel. – 2002. – № 12. – P. 69 – 75. **2.** Pat. 2404271 Russian Federation. UPK⁷ С 22 В 7/00, С 22 В 19/30. Method for processing substandard iron- and zinc-containing metallurgical wastes / Ul'yanov V.P., D'yachenko V.F., Artamonov A.P., Hibadulin M.F., Ul'yanova I.V., Smirnov A.S.; applicant and patent owner OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». – № 2009107657/02; stat. 03.03.09; publ. 20.10.10, Bull. № 32. **3.** Ul'yanov V.P. Ekonomicheskaya otsenka tehnologicheskogo protsesssa kompleksnoj pererabotki zhelezosoderzhashih pylej i shlamov metallurgicheskikh peredelov s polucheniem metallizovannyh okatyshej (Economic evaluation of the technological process of complex processing of iron dusts and sludges metallurgical processes to obtain metallized pellets) / [V.P. Ul'yanov, V.I. Bulavin, I.V. Ul'yanova et all.] // Integrated Processes and Energy Saving. – 2013. – № 1. – P. 91 – 95. (in Russian). **4.** Ul'yanov V.P. Ugletermicheskoe vosstanovlenie oksidov zheleza pylej i shlamov metallurgicheskikh peredelov s polucheniem metallizovannyh okatyshej (Carbothermic recovery of iron oxide dusts and sludges basic metallurgical processes to obtain metallized pellets) / [V.P. Ul'yanov, V.I. Bulavin, A.V. Kramarenko et all.] // Integrated Processes and Energy Saving. – 2014. – № 1. – P. 84 – 89. (in Russian).

Поступила (Received) 03.10.14