

## СЕНСОРНАЯ СОРТИРОВКА ШЛАКОВ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Научно-производственное предприятие «Гамаюн» предоставляет широкий спектр инженеринговых услуг и комплексных готовых решений для сортировки и обогащения сырья. Наша специализация – это разработка сенсорных технологий сортировки сырья для горно-металлургической отрасли. Совершенствуя наш продукт, мы прошли длительный путь от идеи и научных исследований до промышленного внедрения. Обладая собственной научно-производственной базой, мы имеем возможность предложить нашим клиентам технологические решения аналогов которым не существует.*

*Данная статья посвящена технологии кусковой сенсорной (электронной) сортировки, реализованной в оборудовании Модуль кусковой сортировки минерального сырья и техногенных отходов (МКС). Технология основана на применении различных сенсоров в комплексе с программным обеспечением, что делает возможным дифференцированный анализ сырья – измерение электрофизических и геометрических характеристик каждого отдельного куска. Это позволяет достичь высокой эффективности процесса сортировки (обогащения). Анализуются такие характеристики как: проводимость; магнитная восприимчивость; диэлектрическая проницаемость; теплопроводность, свойство поверхности и др.*

*В статье представлены особенности технологии и варианты ее применения на некоторых видах шлаках ферросплавного производства: силикомарганца (SiMn), ферромарганца (FeMn), низко-, средне- и высокоуглеродистого феррохрома (FeCr), ферросилиция (FeSi), силикокальция (SiCa), и пр.*

*Ключевые слова: технология сенсорной сортировки шлаков; модуль кусковой сортировки минерального сырья и техногенных отходов (МКС); шлак, щебень, рециклинг ферросплавных шлаков; переработка шлаковых отвалов; вторичное марганцевое сырье; вторичное хромовое сырье; сортировка шлаков силикомарганца (SiMn), сортировка шлаков ферромарганца (FeMn), переработка шлаков рафинированного феррохрома (FeCr), сортировка шлаков ферросилиция (FeSi).*

*Науково-виробниче підприємство «Гамаюн» надає широкий спектр інжинірингових послуг і комплексних готових рішень для сортування та збагачення сировини. Наша спеціалізація - це розробка сенсорних технологій сортування сировини для гірничо-металургійної галузі. Удосконалюючи наш продукт, ми пройшли тривалий шлях від ідеї і наукових досліджень до промислового впровадження. Маючи власну науково-виробничу базу, ми маємо можливість запропонувати нашим клієнтам технологічні рішення аналогів яким не існує.*

*Дана стаття присвячена технології кусковий сенсорної (електронної) сортування, реалізованої в обладнанні Модуль кусковий сортування мінеральної сировини і техногенних відходів (МКС). Технологія заснована на застосуванні різних сенсорів в комплексі з програмним забезпеченням, що робить можливим диференційований аналіз сировини - вимір електрофізичних і геометричних характеристик кожного окремого куска. Це дозволяє досягти високої ефективності процесу сортування (збагачення). Аналізу підлягають такі характеристики як: провідність; магнітна сприйнятливості; діелектрична проникність; теплопровідність, властивість поверхні і ін.*

*У статті представлені особливості технології і варіанти її застосування на деяких видах шлаках ферросплавного виробництва: силікомарганцю (SiMn), ферромарганцю (FeMn), низько-, середньо-і високовуглецевого ферохрому (FeCr), феросиліцію (FeSi), силікокальція (SiCa), та ін.*

*Scientific & Production Enterprise GAMAYUN LLC offers a wide range of engineering services and integrated solutions in the field of the sensor based stock sorting and beneficiation. Our core business is to design sensor based technologies to classify the extractions in the mining industry. We have challenged a long way starting from ideas and researches and coming with commercial launching of our technologies. Due to our own research and manufacturing facilities we are able to offer our customers unique cutting edge solutions with no analogues in the world.*

*This article is about the sensor based sorting technology and equipment Module of lump separation of mineral feedstock and technogenic wastes (MLS) The technology is based on the application of sensors in compliance with corresponding software providing differential analysis of raw materials: measurement of electrical and physical parameters of each and every lump out of raw material flow. This makes it possible to achieve high efficiency of the sorting process (beneficiation). Such parameters can be analyzed as: conductivity; magnetic remanence; permittivity; thermal conductivity, surface property etc.*

*The thesis presents the technology features and the ways it can be applied particularly in ferroalloy industry: to classify silicomanganese (SiMn), ferromanganese (FeMn), low, medium and high carbon ferrochrome (FeCr), ferrosilicon (FeSi), silicocalcium (SiCa) etc.*

*KEYwords: sensor-based technology for slag sorting; Module of lump separation of mineral feedstock and technogenic wastes (MLS); slag, crushed stone, ferroalloy slag recycling; secondary manganese raw materials; secondary chrome raw materials; silicomanganese (SiMn) slag sorting, ferromanganese (FeMn) slag sorting, processing slag refined ferrochrome (FeCr), ferrosilicon (FeSi), slag sorting*

### **Введение**

Комплексное и рациональное использование сырья на всех стадиях переработки, является важнейшей технологической задачей современного производства. При этом, техногенные отходы (шлаки), являются одной из самых значительных отраслевых проблем. В результате многолетней хозяйственной деятельности, на территориях металлургических предприятий накоплены многомиллионные отвалы шлаков, объем которых продолжает увеличиваться.

Актуальность эффективного рециклинга ферросплавных шлаков с каждым годом возрастает. Истощения запасов богатых и легкообогатимых руд, наряду с падением мировых цен на ферросплавы, вынуждают предприятия искать пути снижения себестоимости производства. Также, существенным является улучшение экологической составляющей, связанное с рециклингом и комплексной переработкой шлаков. В передовых странах мира, наблюдается тенденция к увеличению объема использования в производстве вторичного сырья, полученного за счет эффективной переработки отходов производства.

Одним из главных аспектов в вопросе переработки шлаков ферросплавного производства, является разделение минеральной и металлической фазы. Данный процесс позволяет повторно использовать вторичное металлосодержащее сырьё в основном производстве, тем самым снижать себестоимость производства готовой продукции, а также, более широко использовать обезметалленный шлак в строительной индустрии и с целью рекультивации.

### Особенности сенсорной сортировки

В мировой практике, для переработки шлаков применяются методы в диапазоне от ручной выборки до рентгенорадиометрической сепарации, при этом наибольшее распространение получили технологии, основанные на гравитационных и магнитных методах. Такие методы из-за физических особенностей и особенностей вещественного состава сырья, не всегда обеспечивают требуемые качественные показатели продуктов. Для части слабомагнитных и немагнитных шлаков ферросплавного производства неэффективными являются магнитные методы. Применение гравитационных методов (отсадки) влечет за собой обширное капитальное строительство с необходимостью круглогодичного поддержания температуры в производственных цехах, а также, строительство водных отстойников (шламохранилищ), что затратно и с экологической точки зрения неприемлемо.

#### Технология

Технология сенсорной сортировки [1;2] позволяет извлекать из фракционированного ферросплавного шлака находящиеся в нем металловключения, независимо от их физических свойств (удельный вес, магнитные свойства и пр.). Технология имеет низкие показатели по энергопотреблению (расход электроэнергии – менее 1 кВт/тонну исходного сырья) и не требует водного ресурса, что является значительным аспектом наряду с беспрецедентными для сухих методов качественными показателями сортировки.

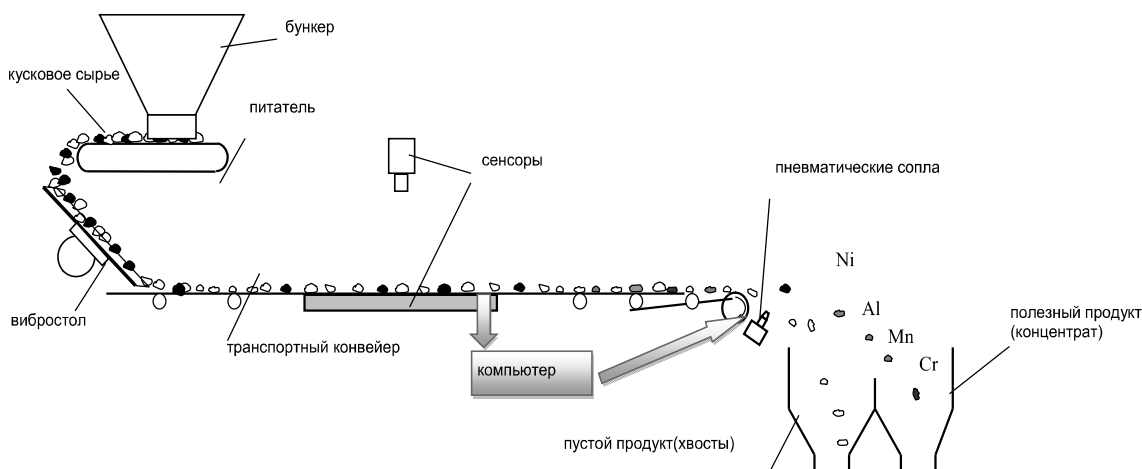


Рисунок 1 – Схема технологии сенсорной сортировки реализованной в МКС

Технология имеет следующую принципиальную схему (Рисунок 1): Исходное кусковое сырье загружается в бункер. В бункере сырьё аккумулируется и подаётся питателем на вибростол. Вибростол формирует монослой материала и подаёт его на ленту транспортного конвейера. При перемещении сырья на конвейере происходит контроль, фиксация и анализ параметров отдельных кусков материала. Посредством специального программного продукта, процессор обрабатывает данные и формирует управляющий сигнал для пневматического сортирующего устройства. Сортирующее устройство отбивает воздушными струями выделенные, в результате анализа, куски материала. Таким образом, формируется два потока материала: «концентрат» (металлоконцентрат) и «хвосты» (обезметаленный шлаковый щебень).

### *Преимущества*

Технология обладает рядом преимуществ:

- позволяет осуществлять сортировку на основании косвенных признаков обусловленных вещественным составом сырья;
- запыленность и загрязненность поверхности сырья не влияет на качество сортировки, так как анализу подлежит объем, а не поверхность;
- физические характеристики: вес, магнитные свойства, цвет, не оказывают решающего воздействия на качество сортировки;
- технология не требует водного ресурса;
- отсутствуют механические процессы, на которые расходуется большое количество энергии, например – измельчение.

### *Оборудование – сортировщик МКС*

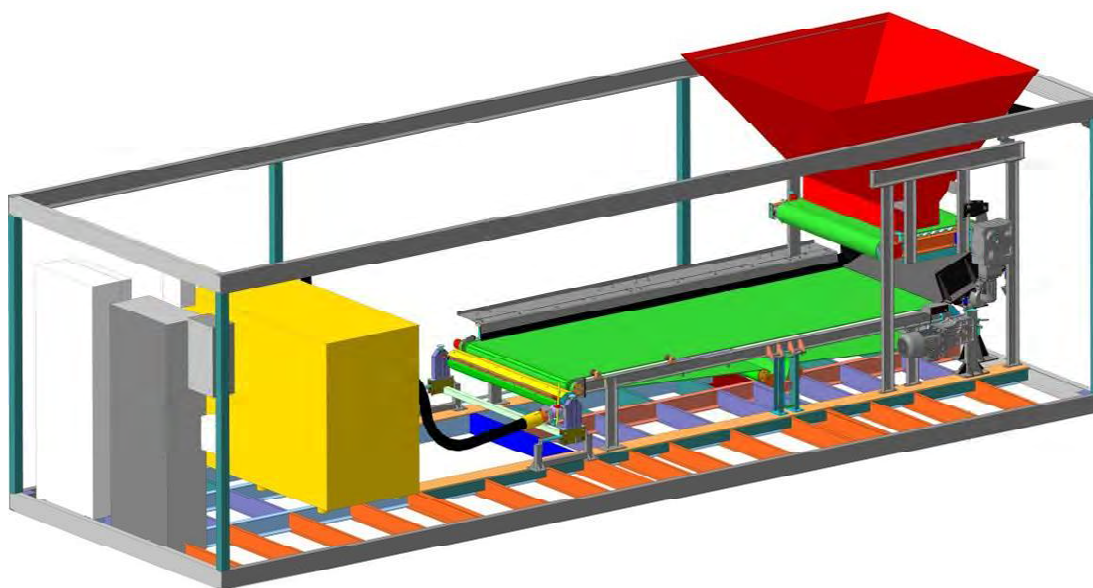


Рисунок 2 – Схема компоновки оборудования МКС

Технология реализована в оборудовании Модуль кусковой сортировки минерального сырья и техногенных отходов (далее - МКС). Вариант компоновки представлен на (Рисунок 2). МКС имеет мобильный форм-фактор – выполнен в контейнерном исполнении. Оборудование работает на кусковом материале размером от 10 до 100 мм. Производительность единицы оборудования – до 80 тонн/час.

Использование различных сенсоров, в том числе собственного производства, а также уникального программного обеспечения, позволяет решать сложные задачи по сортировке сырья. Для обеспечения лучшей эффективности сортировки, могут быть использованы несколько признаков разделения сырья. Например: геометрия и электрическая проводимость куска. Также, могут быть подобраны критерии, характерные исключительно для шлаков конкретного производства.

Данные факторы делают оборудование необходимым звеном производственного цикла для всех крупных ферросплавных предприятий.

### **Сортировка шлаков хромовых ферросплавов**

Для любого производителя ферросплавной продукции актуальной является задача снижения потерь металла в производственном цикле и увеличение его

сквозного извлечения и, как следствие, уменьшение себестоимости основной продукции. Один из путей решения данной задачи – это вовлечение в производство вторичного сырья (металлоконцентрата), источником которого может служить текущий и отвальный шлак.

Заскладированные запасы шлака на Актюбинском заводе ферросплавов включают в себя различные марки феррохрома, более половины из которых – низкоуглеродистые [3]. Металл в шлаке имеет различные магнитные свойства, а сам шлак подвержен разрушению при воздействии водной среды. Соответственно, переработка шлака с заданной эффективностью традиционными методами затруднена.



Рисунок 3 – Испытательный участок по сортировке шлаков рафинированного феррохрома. Казахстан, АО «ТНК «Казхром»

Перед Компанией стоит задача сортировки кусковой фракции шлаков крупностью от 10 до 50 мм с целью извлечения немагнитного и слабомагнитного феррохрома в виде металлоконцентрата используемого для переплава. При этом, необходимо обеспечить в обедненном материале (хвостах) предельно низкое остаточное содержание металла (не более 0,7 % хрома).

С целью получения заданных продуктов реализуется двустадийная переработка шлака. Планируемая производительность опытно-промышленного комплекса 200 000 тыс. тонн по исходному кусковому шлаку, с последующим наращиванием объемов.

На Оравском заводе ферросплавов (OFZ), Словакия, ЕС, оборудование МКС решает задачи по сортировке шлаков текущего производства (рисунок 4). В ближайших планах поставка оборудования, решающего задачи доведения некондиционных ферросплавов до стандартных характеристик (замена ручного труда по отбраковке из металлоконцентрата шлаковых включений; очистка зашлакованных поверхностей фракционированного металла; разделения ферросплавов по маркам).

Также, на территории OFZ, накоплено более 4 млн. тонн отвальных шлаков. Отвал наполнен шлаками различных ферросплавов, совместное использование которых не желательно или исключено: низко-, средне-, высокоуглеродистый феррохром; ферросилиций; силикокальций; марганцевые ферросплавы и пр. То



есть, при переработке отвала необходимо отделять марганцевые ферросплавы от хромовых, извлекать из общей массы ферросилиций, извлечение которого с помощью традиционных методов невозможно.



Рисунок 4 – Участок по сортировке шлаков феррохрома и силикомарганца, Словакия, OFZ

Учитывая данные особенности, реализация технологии разделена на несколько этапов, основные из которых:

- разделение минеральной и металлической составляющей в диапазоне крупности шлака от 6 до 70 мм посредством МКС;
- разделение различных ферросплавов по маркам (посредством специализированной модификации МКС);
- обогащение мелких классов на модульных аппаратах, включающих в том числе, стандартные технологии магнитного и мокрого обогащения.

#### **Сортировка марганцевых шлаков**

Особенно актуальна задача по переработке шлаков у предприятий – мировых лидеров по выпуску ферросплавов, таких как ОАО «Никопольский завод ферросплавов». Поскольку, при производстве сотен тысяч тонн ферросплавов в год, пропорционально растут и потери металла в шлаках.

На пути внедрения сенсорной технологии для сортировки шлаков ферросплавного производства ОАО «НЗФ», были проанализированы все известные методы сортировки шлаков силикомарганца [4;5]. Среди которых: пневматическая сортировка, гидроотсадка, магнитная сепарация, рентгенорадиометрическая сепарация, ручная выборка и пр. Большинство решений предполагали дорогостоящее капитальное строительство. Для гидроотсадки требовался водный ресурс. При этом, рассматриваемые варианты были энергоёмкие и малоэффективные.

После проведения сравнительного анализа технологий, было принято решение о полной реконструкции дробильно-сортировочного комплекса цеха по переработке шлаков НЗФ, с учетом оборудования сенсорной сортировки производства «НПП «Гамаюн» (Рисунок 5). Форм-фактор оборудования позволил легко интегрировать оборудование в существующую производственную цепь предприятия.



Рисунок 5 – Переработка шлаков силикомарганца на Никопольском заводе ферросплавов. МКС интегрирован в галерею дробильно-сортировочного комплекса. Украина, НЗФ

Оборудование МКС по месячной производительности на классе крупности выше 20 мм эквивалентно труду 57 выборщиков, использующих ручной труд [6]. При этом, оборудование обеспечивает лучшие показатели извлечения полезного компонента. А на классе крупности менее 20 мм результаты сортировки на МКС являются не достижимыми для ручного труда и традиционных методов.

На сегодняшний день, оборудование работает на трех различных фракциях сырья: 10-20 мм, 20-40 мм, 40-70 мм. Годовой объем переработки шлаков, с учетом сниженного производства металла на заводе достигает до 300 тыс. тонн в год. При увеличении основного производства, объем переработки шлаковой массы может достигать 0,5 млн тонн в год и более. Совокупное извлечение металлоконцентрата достигает 4 %, с качеством на уровне 32-35 %  $Mn_{общ}$ . Такой продукт используется предприятием в составе шихтовых компонентов при выплавке ферросиликомарганца [7], что повышает сквозное извлечение марганца, кремния и снижает удельный расход электроэнергии. Шлаковый щебень, очищенный от металла, успешно применяется в строительстве.

Сходные качественные показатели достигаются при сортировке шлаков от производства ферромарганца ( $FeMn$ ).

### Выводы

1. Рассмотрена технология сенсорной сортировки сырья, реализованная в оборудовании МКС. Технология применима для всего спектра ферросплавных шлаков и обеспечивает беспрецедентную, для сухих методов, эффективность разделения минеральной и металлической составляющей. Наиболее целесообразно ее применение для извлечения из кусковых шлаков слабомагнитных и немагнитных ферросплавов.

2. Интеграция технологии в производство не требует масштабного капитального строительства и водного ресурса, что в условиях засушливого или холодного климата является существенным преимуществом.

3. Как правило, наибольший экономический эффект от внедрения технологии достигается при переработке отвалов объемом от 2 млн. тонн. Для улучшения экономических показателей переработки техногенных запасов

меньшего объема (до 0,5 млн. тонн) технологические схемы могут включать переработку кусковой фракции на МКС и переработку мелких классов «-10мм» на модульных аппаратах магнитного и мокрого обогащения.

4. Исходя из опыта эксплуатации и расчетов, инвестиции в оборудование сенсорной сортировки окупаются предприятиями горно-металлургического комплекса в срок 1,5-2 года. При этом, использование технологии позволяет улучшать экологические аспекты работы предприятия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 88220 Україна, МПК (2009) G01V 3/00. Пристрій ідентифікації корисного компонента в металовмісній сировині природного або техногенного походження / Куліш А.М., Тітенко С.В., Смоленцев О.М., Гришан Д.В., Волошин С.В., Волошин В.М.; заявник Волошин В.М. - №а200800237; заявл. 08.01.2008; опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
2. Пат. 88221 Україна, МПК (2009) G01V 3/00. Пристрій для сепарації техногенної сировини, представленої металовмісними відходами або некондиційними рудами / Куліш А.М., Тітенко С.В., Смоленцев О.М., Гришан Д.В., Волошин С.В., Волошин В.М.; заявник Волошин В.М. - № а200800239; заявл. 08.01.2008; опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
3. Саспугаева Г.Е., Акшабакова Ж.Е., Сатова К.М., (Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина (Астана), Республика Казахстан. Характеристика отходов производства Актюбинского ферросплавного завода. Наука и Мир, № 4 (20), 2015, Том 3, С.71-73.
4. Куцин В.С., Ольшанский В.И., Филиппов И.Ю., Дедов Ю.Б. Внедрение технологии сепарации шлака на Никопольском заводе ферросплавов. Metallurgical and Mining Industry. №6, 2010. С. 41-44.
5. Куцин В.С., Ольшанский В.И., Гасик М.И., Инновационная технология получения металлоконцентрата ферросиликомарганца из отвального шлака. Сталь. №10, 2011 С. 26-32.
6. Докт. техн. наук, проф. Грищенко С.Г. (Украинская ассоциация предприятий черной металлургии) канд.техн.наук В. А. Гнатуш (независимый эксперт), IV Международная научно-техническая конференция ферросплавщиков. Сталь. №7, 2011 С. 50-57.
7. Ольшанский В.И., Гасик М.И., Инновационная технология получения металлоконцентрата ферросиликомарганца из отвального шлака. Сталь. №10, 2011. – С. 26-32.