

С. П. Шуваев

М. И. Гасик /д. т. н./

П. И. Пилов /д. т. н./, Ю. С. Мостыка /д. т. н./,
В. Ю. Шутов, Л. З. Гребенюк /к. т. н./

ПАО «Орджоникидзевский ГОК»,
г. Покров, Украина
Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: tehnosplavy@ua.fm
ГВУЗ «Национальный горный университет»,
г. Днепро, Украина
e-mail: Shutov2013@ukr.net

Анализ процесса и технологических параметров кинетики мокрой высокоградиентной магнитной сепарации шламов обогащения марганцевых руд и отработанных шламонакопителей

S. P. Shuvaev
M. I. Gasik /Dr. Sci. (Tech.)/P. I. Pilov /Dr. Sci. (Tech.)/,
Yu. S. Mostika /Dr. Sci. (Tech.)/, V. Yu. Shutov,
L. Z. Grebenyuk /Cand. Sci. (Tech.)/

PJSC «OGOK», Pokrov, Ukraine
National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro,
Ukraine
e-mail: tehnosplavy@ua.fm
National Mining University, Dnipro, Ukraine
e-mail: Shutov2013@ukr.net

Process analysis and process parameters of the kinetics of wet high gradient magnetic separation of slimes beneficiation of manganese ore and waste tailings pond

Цель. Анализ информационного ресурса данных математического моделирования параметров множества равновесных систем с набором локальных превращений, осложненных переносом массы и энергии при высокоградиентной мокрой магнитной сепарации слабомагнитных промпродуктов и шламов обогащения марганцевой руды из отработанных шламонакопителей.

Методика. Обобщение и критический анализ информационного ресурса данных о теоретических и экспериментальных разработках в области обогащения слабомагнитных промпродуктов марганцевых оксидных руд и шламов методом высокоградиентной мокрой магнитной сепарации (ВМС).

Результаты. Получены результаты анализа информационного ресурса данных о закономерностях явлений, процессов и технологических параметров кинетики ВМС промпродуктов и шламов обогащения марганцевой руды.

Научная новизна. Проанализирован информационный ресурс данных о закономерностях в системах, представленных дифференциальными уравнениями кинетики ВМС слабомагнитных продуктов обогащения марганцевой оксидной руды и шламов отработанных шламонакопителей методом ВМС.

Практическая значимость. Полученные в работе данные имеют важное практическое значение для совершенствования сквозной технологической схемы и процессов обогащения исходной марганцевой руды традиционными способами и шламов отработанных шламонакопителей методом ВМС с получением товарных марганцевых концентратов классов крупности 10–1 мм и 1–0 мм. (Библиогр.: 11 назв.)

Ключевые слова: высокоградиентная магнитная сепарация, марганцевые руды, шламы, математическая модель, кинетика процесса сепарации, магнитное поле, гидравлическое сопротивление, инерционные силы, системы дифференциальных уравнений, слабомагнитные частицы.

Постановка проблемы. В рамках разработанной и последовательно реализуемой концепции и программы повышения эффективности производства и снижения потерь марганца при обогащении оксидной марганцевой руды одной

из актуальных проблемных задач в области производства марганцевых концентратов является увеличение полезного извлечения марганца при обогащении марганцевой руды, снижение потерь марганца с отвальными шламами [1–4].

На крупнейшем в Никопольском марганцеворудном бассейне производственном комплексе ПАО «Орджоникидзевский ГОК» добываемая на семи карьерах руда подвергается обогащению по сквозной многостадийной схеме, включающей дробление, грохочение, промывку, отсадку и классификацию получаемых марганцевых концентратов [1; 2]. Образующиеся слабомагнитные, содержащие марганец и пустую породу, продукты и шламы подвергаются высокоградиентной мокрой сепарации с вовлечением в технологическую схему богатых марганцем шламов ранее отработанного шламонакопителя.

За истекшие годы производственной деятельности трех обогатительных фабрик ПАО ОГОК – Чкаловской (ЧОФ), Александровской (АОФ) и Богдановской (БОАФ), проектной производительностью по количеству перерабатываемой руды (тыс. т/год): 5200 (ЧОФ), 860 (АОФ) и 400 (БОАФ), в шламонакопителях «Кривые Луки» и «ЧОФ» на 01.01.2016 г. заскладировано 129,1 млн т шламов со средним содержанием марганца 11,98 %. Для сравнения в ранее отработанных шламохранилищах содержание марганца в шламах составляет от 13 до 19 %.

В проведенных в ретроспективе работах было установлено, что из исследованных разных способов дообогащения шламов (химические, флотационные, бактериологические и др.) наиболее эффективным в аспектах повышенных показателей извлечения марганца и снижения материально-технических затрат является высокоградиентная магнитная сепарация [5; 6] с применением высокопроизводительных магнитных сепараторов. Следует особо отметить, что магнитные сепараторы, как и другое оборудование для обогащения марганцевой руды и шлама, разрабатывались учеными научной школы по обогащению полезных ископаемых Национального горного университета, в течение многих десятилетий возглавляемой доктором технических наук профессором В. И. Кармазиным. В данной работе анализируются закономерности процессов и технологических параметров обогащения исходной марганцевой руды и шламов отработанных шламонакопителей методами высокоградиентной магнитной сепарации.

Всегда нужно помнить, что есть, в сущности, только одна наука, и если мы познаем истины, которые кажутся нам оторванными друг от друга, то потому, что мы не знаем связь, которая объединяет их в одно целое»

Э. Б. де Кондильяка

1. Анализ информационного ресурса данных математического моделирования процес-

са высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных материалов

Как отмечено выше, из ряда известных способов повышения полезного извлечения марганца из шлама в товарные концентраты промышленное применение получил способ высокоградиентной мокрой магнитной сепарации. В ретроспективе многими учеными, исследовавшими процесс магнитного обогащения полезных ископаемых, были установлены закономерности кинетики процессов разделения зерен слабомагнитных материалов в рабочих зонах высокоградиентных магнитных сепараторов.

В работах Л. И. Хейфеца и Е. Е. Бруна [7] рассмотрен общий подход к количественному описанию одновременно протекающих в макроскопической системе процессов превращений и переноса массы и проанализированы выявленные важные закономерности.

Развитый авторами [7] подход применим для изучения ряда физических и физико-химических превращений, осложненных одновременно протекающими процессами. Рассматриваемый подход авторов [7–9] основывается на представлении о локальном термодинамическом равновесии. Систему в целом рассматривают как состоящую из множества равновесных систем, каждая из которых характеризуется набором локальных параметров – составом, температурой и давлением, когда стадия переноса ответственна за обмен веществом и (или) импульсом на некотором пространственном масштабе, который является метрической характеристикой области ее протекания [8]. С каждой из стадий связано характерное время, за которое изменение определенного параметра в ходе конкретной стадии (при условии «замороженности» всех остальных стадий) становится сравнимым по порядку величин с максимальным изменением этого параметра в результате рассматриваемой стадии.

При этом скорость каждой стадии может быть выражена феноменологическими уравнениями. Для решения уравнений баланса, составленных с учетом скоростей всех стадий, эти уравнения обычно приводят к безразмерному виду. Нахождение этих критериев по Л. И. Хейфецу и Е. Б. Бруну [7; 9] позволяет качественно (в отдельных случаях количественно) анализировать изучаемый процесс, а именно: выявить внутренние пространственные масштабы, установить возможность протекания процесса в различных режимах и критические условия существования этих режимов.

Применительно к процессам обогащения минеральных видов сырья наибольшее число опубликованных в ретроспективе работ посвящено высокоградиентной магнитной сепара-

ции слабомагнитных руд, рассматриваемых в последнее время как важнейший информационный ресурс сырьевых материалов (Дж. Ватсон, В. И. Кармазин, Р. Гербер, Р. Фридлендер, В. В. Кармазин, А. М. Туркенич, Ю. Г. Качан и др.).

2. Теоретический анализ процесса высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных материалов

Из ряда теоретических и технологических работ в области высокоградиентной магнитной сепарации в рамках цели и задачи настоящего исследования выделена имеющая фундаментальную основу работа Дж. Ватсона [10]. Она посвящена теоретическому анализу кинетики процесса высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных рудных и нерудных материалов.

Главная идея, положенная в основу развитого Дж. Ватсоном подхода к решению сложной задачи, заключается в разработке и получении аналитических закономерностей, позволяющих описывать траектории движения частиц сепарируемого рудного и нерудного вещества около цилиндрического ферромагнитного элемента, помещенного в однородное магнитное поле.

Как обобщающий итог многоплановой работы с учетом большого количества учитываемых факторов, влияющих на кинетический процесс сепарации и вещественной среды, являются полученные Дж. Ватсоном системы дифференциальных уравнений, описывающих кинетику сепарации слабомагнитных полезных ископаемых с различной магнитной восприимчивостью, магнитной проницаемостью и другими факторами. Приведенные ниже дифференциальные уравнения Дж. Ватсона имеют следующий вид [10]:

$$\frac{dr_0}{dt} = \frac{V_0}{a} \left[1 - \frac{1}{r_a^2} \right] \cos(\theta - \gamma) - \frac{V_m}{a} \left(\frac{k}{r_a^5} + \frac{\cos 2\theta}{r_a^3} \right); \quad (1)$$

$$r_a \frac{d\theta}{dt} = \frac{V_0}{a} \left[1 - \frac{1}{r_a^2} \right] \sin(\theta - \gamma) - \frac{V_m}{a} \cdot \frac{\sin 2\theta}{r_a^3}; \quad (2)$$

$$k = \frac{M}{2H_0}; M = \frac{2\mu(\mu_W - \mu_0)}{\mu_0(\mu_f - \mu_W)} \cdot H_0;$$

$$r_a = \frac{r}{a}; V_m = \frac{2\mu(\chi_p - \chi_f)MH_0^2}{9\eta a};$$

где V_m – «магнитная скорость», параметр, введенный Дж. Ватсоном; V_0 – скорость движения жидкости; χ_p, χ_f – удельная магнитная восприимчивость твердой частицы и жидкости соответственно; η – коэффициент динамической вязкости жидкости как отношение тангенциальной скорости к степени деформации; μ_0, μ_f, μ_W – магнитная проницаемость вакуума, жидкости и

материала цилиндра соответственно; a – радиус цилиндра; H_0 – напряженность внешнего магнитного поля.

3. Разработка системы дифференциальных уравнений, описывающих кинетику сепарации слабомагнитных материалов

Выполненный автором [6] обстоятельный анализ уравнений движения парамагнитной частицы вещества в области намагниченного цилиндра показал, что в расчетные уравнения Дж. Ватсона не входит важная величина – *масса частицы*, поскольку он рассматривает частицу как точку без массы. Ю. С. Мостыка обосновал, что неучет массы частицы является основным недостатком физической модели и системы дифференциальных уравнений Дж. Ватсона в целом.

Пренебрежение Дж. Ватсоном силы тяжести и инерционных сил, а также допущение при этом, что для мелких частиц вещества (менее 75 мкм) эти силы незначительны в сравнении с гидродинамическими силами, является, как показано результатами математического моделирования автора [6], недостатком физической модели и дифференциальных уравнений.

Наряду с теоретическим анализом системы уравнений Ю. С. Мостыка апостериорно определил ее погрешность и границы применимости.

В результате анализа информационного ресурса данных о способах и моделях магнитного обогащения слабомагнитных минеральных сред автор выявил, что ни одна из проанализированных математических и физических моделей обогащения не рассчитана на всеобщий многофакторный анализ сложного процесса высокоградиентной магнитной сепарации природных (рудных, нерудных) видов минерального сырья.

Для устранения недостатков системы дифференциальных уравнений Дж. Ватсона Ю. С. Мостыка [6] разработал математически-физическую модель мокрой высокоградиентной магнитной сепарации и вывел систему дифференциальных уравнений кинетики ВМС слабомагнитных минеральных видов сырья. Эти уравнения основаны на балансе векторной системы всех основных сил, действующих на частицы вещества: магнитной, гравитационной, силы гидравлического сопротивления движению частицы и силы инерции.

За основу было принято следующее уравнение:

$$M_p = \frac{d\vec{V}_p}{dt} = \vec{F}_m + \vec{F}_d + \vec{F}_g,$$

где M_p – масса частицы; \vec{V}_p – вектор скорости частицы; $\vec{F}, \vec{F}_d, \vec{F}_g$ – векторы магнитной, гидро-

динамической и гравитационной сил, действующих на частицу.

Для базовых уравнений в опубликованных работах Ю. С. Мостыки приведен полный анализ составных сил, действующих на частицу вещества:

- компоненты вектора напряженности магнитного поля вблизи круглого цилиндра, помещенного в однородное магнитное поле напряженности H_0 ;
- силы гидравлического сопротивления движению частиц в жидкой среде;
- гравитационная сила, действующая на частицу.

После преобразований автором приведено уравнение движения магнитной частицы в области цилиндрического ферромагнитного элемента рабочей зоны высокоградиентного магнитного сепаратора.

Полученная Ю. С. Мостыкой система дифференциальных уравнений, описывающих закономерности движения частиц с учетом всех сил, действующих на неё, около намагниченного цилиндра, приведена ниже:

$$\frac{d^2 r}{dr^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{1}{r} \left[-\frac{V_m}{r^3} \left(\frac{A}{r^2} + \cos 2\theta \right) - N_d (V_{P_s} - V_{f_s}) \right] +$$

$$+ q \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) \cdot \cos(\theta - \beta);$$

$$r \frac{d^2 \theta}{dt^2} + 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{r} \left[-\frac{V_m}{r^3} \sin 2\theta - (V_{p,\theta} - V_{f,\theta}) \right] -$$

$$- q \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) \sin(\theta - \beta),$$

где $A = \frac{\mu_w - \mu_f}{\mu_w + \mu_f}$;

$$V_m = \mu_0 (\alpha_p - \alpha_f) \cdot d_p / 18 \eta \cdot M H / r_w$$

где r - радиус-вектор данной точки поля; θ - полярный угол, определяющий положение данной точки; V_m - магнитная скорость; $V_{p,r}$ - радиальная составляющая скорости частицы; $V_{f,r}$ - радиальная составляющая скорости жидкости; ρ_f - плотность жидкости; ρ_p - плотность частицы; $V_{p,\theta}$ - тангенциальная составляющая скорости частицы; $V_{f,\theta}$ - тангенциальная составляющая скорости жидкости; A - безразмерный параметр; d_p - диаметр частицы; α_p - объемная магнитная восприимчивость твердой частицы; α_f - объемная магнитная восприимчивость жидкости; M - масса частицы; H_0 - напряженность внешнего магнитного поля; r_w - радиус ферромагнитного элемента матрицы.

Таким образом, уравнения Дж. Ватсона, приведенные по высокоградиентной мокрой се-

парации веществ, в работах многих исследователей являются по существу частным случаем более общей системы уравнений Ю. С. Мостыки, если пренебречь в них инерционной и гравитационной силами, а для определения коэффициента гидродинамического сопротивления использовать известную формулу Стокса:

$$F = 6 \pi \mu r v,$$

где μ - коэффициент кинематической вязкости жидкости; r и v - радиус и скорость шара соответственно.

На основании данных проведенных теоретических и экспериментальных исследований Ю. С. Мостыкой разработан алгоритм модели расчета прогнозных показателей обогащения слабомагнитных руд в рабочей зоне высокоградиентного магнитного сепаратора.

Следует отметить, что для сепарации слабомагнитных нефлокулирующих руд в рабочих зонах сепаратора выделены параметры сепарации режимные и конструктивные. К первым параметрам отнесены индукция внешнего магнитного поля B_0 , скорость прохождения пульпы сквозь рабочую зону V_p , ее плотность ρ , начальная скорость движения жидкости V_0 . Режимные параметры могут изменяться в широких пределах.

К конструктивным параметрам отнесены размеры зоны сепарации, форма, размеры и расположение элементов матрицы, а также направления векторов напряженности магнитного поля и потоков пульпы, а также силы притяжения. Предложенный автором [6] количественный параметр $K = \chi \cdot R_p^2$ (где χ - удельная магнитная восприимчивость материала и R_p - радиус частицы материала) позволяет описывать свойства слабомагнитных руд при мокрой магнитной сепарации и определять приоритет улавливания частиц в рабочих зонах высокоградиентного магнитного сепаратора.

Выводы. В рамках инновационной минерально-сырьевой концепции рационального использования при обогащении марганцевых руд Никопольского месторождения как одной из важнейших задач ГМК Украины выполнен анализ информационного ресурса данных о закономерностях физических явлений и процессов кинетики высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных промпродуктов обогащения первичной марганцевой руды и сепарации шламов отработанных шламонакопителей.

Проанализирован развитый в литературе общий подход к количественному описанию одновременно происходящих в макроскопической системе процессов превращений и пере-

носа массы, рассматриваемых как множество различных систем, каждая из которых характеризуется набором локальных параметров.

Проанализирован информационный ресурс данных о системах дифференциальных уравнений кинетики высокоградиентной мокрой магнитной сепарации и полученных результатах математического моделирования параметров равновесных систем с набором превращений, осложненных переносом массы.

Проанализирован разработанный Ю. С. Мостыкой принципиально новый подход к количественному описанию одновременно происходящих в макроскопической системе процессов превращения и переноса массы частиц, а также система дифференциальных уравнений кинетики высокоградиентной мокрой магнитной сепарации слабомагнитных руд.

Система дифференциальных уравнений кинетики высокоградиентной мокрой сепарации слабомагнитных руд, разработанная Дж. Ватсоном без учета сил тяжести и инерционных сил, при некоторых допущениях является частным случаем системы дифференциальных уравнений Ю. С. Мостыки, основанной на балансе векторной суммы всех основных сил, действующих на частицы в рабочей зоне высокоградиентного магнитного сепаратора.

Библиографический список / References

1. Гасик М. И. Марганец. Глава 17. Обогащение марганцевых руд гравитационно-магнито-флотационными методами / М. И. Гасик. – М.: Metallurgy, 1992. – 608 с.

Gasik M. I. Manganese. Head 17. Enriching of manganese ores of gravitational-magnetic-flotation methods. Moscow, Metallurgy, 1992, 608 p.

2. Шуваев С. П. Разработка и промышленное освоение технологии производства марганцевого агломерата с применением в аглошихте концентрата обогащения шламов с отработанных шламохранилищ ПАО ОГОК / С. П. Шуваев, В. И. Бондарец, Л. Л. Куцевол, М. И. Гасик // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 2. – С. 59–67.

Shuvaev S. P., Bondarec V. I., Kucevol L. L., Gasik M. I. *Development industrial mastering of technology of production of manganese agglomerate with application in the agglorburden of concentrate of enriching of waste tailings pond PJSC "OGOK"*. Metallurgical and mining industry. 2016, no. 2, pp. 59-67.

3. Кармазин В. В. Магнитные и электрические методы обогащения / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. – М.: Недра, 1988. – 304 с.

Karmazin V. I., Karmazin V. V. *Magnetic and electric methods of enriching*. Moscow, Nedra. 1988, 304 p.

4. Фомин Я. И. Технология обогащения марганцевых руд / Я. И. Фомин. – М.: Недра, 1987. – 247 с.

Phomin Ya. I. *Technology of enriching of manganese ores*. Moscow, Nedra. 1987, 247 p.

5. Мостыка Ю. С. Кинетика мокрой высокоградиентной магнитной сепарации / Ю. С. Мостыка // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. збірник НГУ. – 2003. – Вип. 18 (59). – С. 118–129.

Mostika Yu. S. *Kinetics of wet high-gradient magnetic separation*. Enriching of minerals. 2003, issue 18 (59), pp. 118-129.

6. Мостыка Ю. С. Развитие научных основ кинетики мокрой высокоградиентной магнитной сепарации слабомагнитных руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. С. Мостыка. – Днепропетровск: НГУ, 2005. – 35 с.

Mostika Yu. S. *Development of scientific bases of kinetics of wet high-gradient magnetic separation of слабомагнитных of ores*. Abstract of thesis of dissertation on the competition of scientific degree of doctor of engineering sciences. Dnepropetrovsk, NMU. 2005, 35 p.

7. Хейфец Л. И. Теоретические основы химической кинетики / Л. И. Хейфец, Е. Б. Брун. – 1987. – Т. 21, № 2. – С. 191–214.

Heyfec L. I., Brun E. B. *Theoretical bases of chemical kinetics*. 1987. Vol. 21, no. 2, pp. 191-214.

8. Слеттери Дж. Теории переноса, импульса, энергии и массы в сложных средах / Дж. Слеттери; пер. с англ. – М., 1978.

Slettery J. *Theories of transfer, impulse, energy and mass in difficult environments*. Moscow, 1978.

9. Хейфец Л. И. Макрокинетика. Статья в Химической энциклопедии / Л. И. Хейфец, Е. Б. Брун. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1990. – Т. 2. – С. 631–633.

Heyfec L. I., Brun E. B. *Macrokinetics*. The article is in the Chemical encyclopedia. Moscow, Soviet encyclopedia. 1990, vol. 2, pp. 631-633.

10. Watson J. Theory of capture of particles in magnetic high-intensity filters. IEEE Trans. Mag., MAG-11, 1975, p. 1597.

11. Расчет силовых характеристик рабочей зоны магнитного сепаратора с цилиндрическими ферромагнитными элементами / Ю. С. Мостыка, В. И. Кармазин, Л. З. Гребенюк, В. Ю. Шутов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 1996. – № 3. – С. 56–59.

Mostika Y. S., Karmazin V. I., Grebenyuk L. Z., Shutov V. Y. *Calculation of power descriptions of working zone of magnetic separator with the cylindrical ferromagnetic elements*. Min. inf.-analit. bul. 1996, no. 3, pp. 56-59.

Purpose. Analysis of the information resource database of mathematical modeling of the set parameters of equilibrium systems with a set of local transformations of complicated transport of mass and energy in the high-gradient wet magnetic separation of weakly magnetic intermediate products and slimes beneficiation of manganese ore from the waste tailings pond.

Methodology. Synthesis and critical analysis of the information resource of data on theoretical and experimental developments in the field of enrichment of the weakly magnetic intermediate products of manganese oxide ores and sludges by high-gradient wet magnetic separation.

Findings. We obtained results of the analysis of the information resource of data on regularities of the phenomena, processes and technological parameters of the kinetics of the MS middlings and slimes beneficiation of manganese ore.

Originality. Analyzed source of information about the patterns of data in the system of differential equations of the kinetics of weakly magnetic products MS enrichment

of manganese oxide ore and tailings pond sludge waste by the MS.

Practicality value. The data obtained are of great practical importance for sovershentvovaniya through technological scheme and enrichment processes of the original manganese ore by conventional techniques and the sludge of waste sludge tanks by the MS, to produce manganese concentrates class size 10–1 mm and 1–0 mm.

Key words: high-gradient magnetic separation, manganese ore, sludge, mathematical model, kinetics of the separation process, magnetic field, flow resistance, inertial forces, system of differential equations, weakly magnetic particles.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. И. Гасиком

Поступила 26.12.2016



УДК 669.213.3:669.15-198

С. П. Шуваев

М. И. Гасик /д. т. н./

**П. И. Пилов /д. т. н./, Ю. С. Мостыка /д. т. н./,
В. Ю. Шутов, Л. З. Гребенюк /к. т. н./**

Производство

ПАО «Орджоникидзевский ГОК»,
г. Покров, Украина

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: tehnosplavy@ua.fm

ГВУЗ «Национальный горный университет»,
г. Днепро, Украина
e-mail: mineraltech@mail.ru

Комплексное обогащение марганцевых продуктов со стадией высокоинтенсивной магнитной сепарации и определение магнитных свойств марганцевых концентратов и агломерата

S. P. Shuvaev

M. I. Gasik /Dr. Sci. (Tech.)/

**P. I. Pilov /Dr. Sci. (Tech.)/,
Yu. S. Mostika /Dr. Sci. (Tech.)/, V. Yu. Shutov,
L. Z. Grebenyuk /Cand. Sci. (Tech.)/**

PJSC «OGOK», Pokrov, Ukraine

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

e-mail: tehnosplavy@ua.fm

National Mining University, Dnipro, Ukraine
e-mail: mineraltech@mail.ru

Integrated enrichment of manganese products ore with high-intensity magnetic separation stage and the determination of the magnetic properties of manganese concentrate and agglomerate

Цель. Анализ технологических схем и оборудования для обогащения марганцевых продуктов и определение магнитных свойств марганцевых концентратов и агломерата.

© С. П. Шуваев, М. И. Гасик /д. т. н./, П. И. Пилов /д. т. н./, Ю. С. Мостыка /д. т. н./, В. Ю. Шутов, Л. З. Гребенюк /к. т. н./, 2017 г.