

СТАТЬИ

УДК 66.021.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ  
ПОЛИФРАКЦИОННОГО ПЛОТНОГО СЛОЯ РУДНОГО СЫРЬЯ**

**Бобков В.И., Орехов В.А.**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал, Смоленск,  
e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

В статье рассмотрены вопросы аэродинамики плотного моно- и полифракционного слоя при изотермических и неизоотермических условиях. Приведены результаты экспериментального исследования аэродинамического сопротивления шаров различного диаметра, а также их смесей двухфракционных диаметров при различных весовых содержаниях мелкой фракции. Описана схема экспериментальной установки для исследования аэродинамики плотного слоя при высоких температурах, в диапазонах действующих обжиговых конвейерных и агломерационных машин. На примере полифракционной засыпки кускового фосфоросодержащего рудного сырья рассмотрено влияние температурного распределения по высоте на сопротивление слоя в диапазоне температур действующих обжиговых агрегатов. При высокотемпературных процессах, протекающих в зернистых засыпках, и сложностях, обуславливаемых структурой слоя, добавляются факторы, связанные с изменением свойств потока и материала, а в большинстве случаев с изменением структуры слоя под воздействием химических реакций, протекающих при высоких температурах полифракционных засыпок при неизоотермических условиях. Представлена методика расчёта сопротивления слоя при неизоотермических условиях на основе позонного разделения плотного слоя. Выявлено влияние на сопротивление слоя при высоких температурах свойств потока газа теплоносителя, особенно вязкостью, так как она зависит от состава газового потока и сильно от температуры. Зависимость кинематической вязкости от температуры представлена в виде многочлена второй степени по температуре. Исследована аэродинамика полифракционных засыпок в изотермических и неизоотермических условиях на примере смесей шаров и кускового фосфоросодержащего рудного сырья.

**Ключевые слова:** рудное сырьё, плотный слой, аэродинамическое сопротивление, температура, структурная модель, полифракционная засыпка

**AERODYNAMICS STUDY OF POLYFRACTION DENSE LAYER  
OF ORE RAW MATERIAL**

**Bobkov V.I., Orekhov V.A.**

*National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk branch, Smolensk,  
e-mail: vovabobkoff@mail.ru*

The article discusses the aerodynamics of the dense mono- and polyfraction layer under isothermal and non-isothermal conditions. Results of experimental study of aerodynamic resistance of balls of different diameter, as well as their mixtures of two-fraction diameters at different weight contents of fine fraction are given. A scheme of an experimental installation for studying the aerodynamics of a dense layer at high temperatures in the ranges of operating roasting conveyor and agglomeration machines is described. On the example of polyfraction filling of chunky phosphorus-containing ore raw materials, the influence of the temperature distribution in height on the resistance of the layer in the temperature range of operating calcination units is considered. In high temperature processes occurring in granular backfills and the complexity of the structure of the layer, factors associated with changes in the properties of the flow and material are added, and in most cases with changes in the structure of the layer under the influence of chemical reactions occurring at high temperatures of polyfraction backfills under non-isothermal conditions. It has been found that as the fine fraction content increases, the specific surface area of the layer increases as the fine fraction has a larger specific surface area. The method of calculating the layer resistance under non-isothermal conditions on the basis of positional separation of the dense layer is presented. The effect on the resistance of the bed at high temperatures of the properties of the coolant gas flow, especially viscosity, has been revealed, since it depends on the composition of the gas flow and strongly on temperature. The dependence of kinematic viscosity on temperature is presented in the form of a polynomial of the second degree in temperature. The aerodynamics of polyfraction fillings under isothermal and non-isothermal conditions were studied using the example of mixtures of balls and chunky phosphorus-containing ore raw materials.

**Keywords:** ore raw material, dense layer, aerodynamic resistance, temperature, structural model, polyfraction filling

В современной промышленности часто встречаются устройства, работающие с грузочными зернистыми слоями, как стационарные, так и подвижные [1, 2]. К таким устройствам, в частности, относятся обжиговые конвейерные и агломерационные машины для обогащения рудного сырья в металлургической, химической и горно-обогатительной промышленности. Расчёт таких устройств требует знания аэро-

динамических характеристик подвижного плотного слоя кускового и окомкованного рудного сырья с перекрёстной подачей газа-теплоносителя [3, 4]. По гранулометрическому составу, как правило, чаще встречаются полифракционные системы, включающие широкие классы по размерам [5, 6]. Геометрическая структура таких систем будет сильно зависеть от степени неоднородности или полидисперсности.

Аэродинамические параметры динамического плотного слоя определяются главным образом геометрическими характеристиками полифракционной засыпки рудного сырья и режимом функционирования обжиговых конвейерных машин [7, 8].

Цель настоящего исследования – провести натурные эксперименты по аэродинамическому сопротивлению двухкомпонентных смесей шаров и полифракционной засыпки кускового фосфоросодержащего рудного сырья; исследовать изменения аэродинамического сопротивления в изотермических и неизотермических условиях; разработать методику расчёта аэродинамического сопротивления полифракционного слоя.

Объект исследования – движущийся на конвейере обжиговой или агломерационной машины плотный слой кускового или окомкованного фосфоросодержащего рудного сырья, с перекрёстной подачей газа-теплоносителя.

#### Материалы и методы исследования

Основными геометрическими характеристиками неподвижного плотного слоя кускового и окомкованного фосфоросодержащего рудного сырья являются его порозность и удельная поверхность. Эти усреднённые параметры зависят от способа укладки слоя, гранулометрического состава, габаритов слоя. В качестве характерного геометрического размера принимают средний размер элементов слоя, для полифракционного слоя различают средневесовой диаметр

$$d = \sum_{i=1}^N d_i g_i,$$

или среднеповерхностный

$$d_s = \left( \sum_{i=1}^N g_i / d_i \right)^{-1},$$

где  $d_i$  – средний диаметр  $i$ -й фракции,  $g_i$  – весовая доля  $i$ -й фракции. Порозность определялась экспериментально

$$\varepsilon = 1 - \rho_n / \rho_m,$$

где  $\rho_n$  – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_m$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>. Удельная поверхность засыпки определялась соотношением:

$$s = s_0 (1 - \varepsilon) + 3 / D,$$

где  $s_0$  – удельная поверхность элементов слоя, м<sup>2</sup>,  $D$  – диаметр рабочего участка, м. Для монофракционных засыпок шаров удельная поверхность определяется как  $s_0 = 6 / d$ . Для полифракционных засыпок из шаров удель-

ная поверхность слоя определяется соотношением  $s_0 = \sum_{i=1}^N g_i \cdot 6 / d_i$ . Для полифракционных засыпок из частиц неправильной формы определение удельной поверхности основывается на методике использования коэффициента формы зерна:

$$\Phi = k_s^2 / k_v^3, \quad k_s = d_s / d_c, \quad k_v = d_v / d_c,$$

где  $d_c$  – среднеситовой,  $d_s$  – эквивалентный по поверхности,  $d_v$  – эквивалентный по объёму диаметр зерна. Эквивалентные диаметры определяются соответственно:

$$d_s = \sqrt{s_3 / \pi} \quad \text{и} \quad d_v = \sqrt{6v_3 / \pi},$$

где  $s_3$ ,  $v_3$  – соответственно поверхность и объём зерна. Тогда удельная поверхность зерна полифракционного слоя будет определяться как  $s_0 = \sum_{i=1}^N \frac{6g_i}{\Phi_i d_i}$ .

Особенностью полифракционных засыпок является способность мелких фракций заполнять промежутки между крупными элементами, тем самым резко снижая среднюю порозность слоя. Это явление характеризуется способом укладки и степенью неоднородности засыпки. В различных источниках под степенью неоднородности понимается или отношение диаметра крупной фракции к диаметру мелкой фракции или наоборот. Нами принят коэффициент неоднородности  $f = d_{\min} / d_{\max}$ .

Движение газа в слое подчиняется уравнению Навье – Стокса. Учитывая, что во многих промышленных установках с зернистым слоем скорость фильтрации газовой среды невелика, то можно считать газ несжимаемым. Однако сложность геометрической структуры затрудняет выполнение аналитически граничное условие: отсутствие скольжения на поверхности [9, 10]. В большинстве случаев можно пренебречь гравитационной составляющей уравнения Навье – Стокса.

С принятыми допущениями для усреднённых значений давления и скоростей газа-теплоносителя выражение для перепада давления вдоль потока будет иметь вид

$$-\nabla \bar{p} = (\bar{n} \bar{w} \nabla) \bar{w} + i \bar{w}. \quad (1)$$

Для анализа уравнения (1) был предложен ряд моделей.

В области преобладания сил вязкости уравнение движения на основе капиллярной модели преобразуется к уравнению Козени – Кармана:

$$\frac{\Delta p}{H} = K \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \mu s_0 w, \quad (2)$$

где  $K$  – константа Козени – Кармана, определяемая экспериментально для шаров  $4 \div 4.5$ ,  $s_0$  – удельная поверхность элементов слоя,  $H$  – высота слоя.

Для слоя шаров:

$$\frac{\Delta p}{H} = 2K \frac{\mu}{\rho w} \frac{s_0^2}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2 = 8K \frac{\nu s_0}{4w} \frac{s_0}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2 = \xi_3 \frac{s_0}{\varepsilon^3} \frac{1}{2} \rho w^2.$$

Тогда коэффициент гидравлического сопротивления слоя:

$$\xi_3 = 8K \frac{\nu s_0}{4w} = \frac{8K}{Re_3},$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость потока,  $Re_3$  – эквивалентное число Рейнольдса.

Простейшая капиллярная модель и более сложная сетевая не учитывают многих особенностей реального слоя, таких как наличие застойных зон [11, 12].

Для модели из ансамбля шаров Хаппелем получено уравнение

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{18(1-\varepsilon)s_0^2}{\varepsilon^3} [2K(1-\varepsilon) + \varepsilon^3] \frac{\mu w}{d^2},$$

которое отличается от (2) поправкой  $\varepsilon^3$ . Введение такой поправки позволяет получить плавный переход к закону Стокса для омывания одиночного шара, что получается при  $\varepsilon \rightarrow 1$ .

В областях течения, где влияют и силы вязкости, и инерционные из анализа метода размерностей уравнения перепада давлений в слое в общем виде будет

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\mu^2}{\rho d^3} \sum_{i=1}^N A_i Re_3^{n_i}. \quad (3)$$

Обычно ограничиваются двумя первыми членами суммы (3), причём показатель степени для первого слагаемого, характеризующего вязкостный режим, получается равным нулю  $n_1 = 0$ , а  $n_2 = 2$ , характеризующий второй предельный случай – инерционный режим. На практике чаще встречаются интерполяционные уравнения вида

$$\frac{\Delta p}{H} = Aw + Bw^2, \quad (4)$$

а для коэффициента аэродинамического сопротивления:

$$\xi_3 = \frac{8K}{Re_3} + K_n,$$

тогда уравнение (4) преобразуется к виду

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\mu s_0^2 K}{\varepsilon^3} w + \frac{s_0 \rho K_n}{2\varepsilon^3} w^2, \quad (5)$$

где  $K_n$  – инерционная составляющая сопротивления.

Эксперименты проводились на лабораторной установке, адаптированной авторами для проведения настоящих исследований, состоящей из рабочего участка высотой 0,5 м с внутренним диаметром для шаров 0,225 м, для кусковых засыпок – 0,3 м. Для выравнивания скорости газа на выходе в участок установлен ресивер с соплом на выходе с коэффициентом неравномерности 0,95. Для подогрева воздуха служит нагреватель, для получения более высоких температур использовалась камера сгорания, работающая на сжиженном газе – смеси пропана и бутана. Расходы воздуха и газа измерялись диафрагмами «четверть круга», температуры и температурные напоры регистрировались потенциометрами. Перепады давления в слое измерялись наклонными микроманометрами. Для усреднения давления по сечению установлены по три импульсные трубки, всего замеры проводились по четырём сечениям. Воздух нагнетался вентилятором высокого давления.

Перед исследованием полифракционных засыпок были проведены опыты с монофракционными слоями шаров с диаметром 16,67; 14,15; 9,51; 7,97 и 6,75 мм. Коэффициенты аэродинамического сопротивления определяли как

$$\xi_3 = \frac{2\Delta p \varepsilon^3}{\rho w^2 H s_0},$$

где  $w$  – скорость потока газа-теплоносителя на свободное сечение, м/с.

После обработки результатов по коэффициенту аэродинамического сопротивления слоя шаров по методу наименьших квадратов усреднённая зависимость получилась:

$$\xi_3 = \frac{32}{Re_3} + 0.54,$$

что удовлетворительно совпадает с известными зависимостями, при этом константа Козени – Кармана получилась равной  $K = 4$ , а инерционная составляющая  $K_n = 0,54$  при средней величине порозности  $\varepsilon = 0,36$ .

При исследовании полифракционных засыпок использовались смеси шаров вышеуказанных диаметров.

Изменение структуры слоя хорошо заметно по зависимости порозности слоя от содержания мелкой фракции и степени неоднородности. Для смеси шаров диаметром 16,67 и 6,35 при содержании мелких шариков 30% по весу наблюдается минимальное значение порозности 0,295. Такое резкое снижение порозности объясняется соотношением диаметров. При кубической

укладке шаров большего диаметра промежуток между шарами составляет  $d(\sqrt{2}-1)$ , при диаметре 16,67 мм это будет 6,7 мм, то есть мелкие шарики свободно могут размещаться между крупными, а при степени неоднородности близкой к 0,5 зависимость порозности от весовой доли мелкой фракции получается более плавной, без резкого минимума.

С увеличением содержания мелкой фракции удельная поверхность слоя увеличивается, так как для мелкой фракции удельная поверхность больше. Обработка результатов по коэффициентам аэродинамического сопротивления слоя смесей шаров по методу наименьших квадратов даёт следующие значения расчётных формул.

При степени неоднородности  $f$  менее 0.5:

$$\xi_s = \frac{45.1}{Re_s} + 1.15.$$

При степени неоднородности  $f$  сравнимой с 0.5:

$$\xi_s = \frac{32}{Re_s} + 0.834.$$

Чем больше соотношение между диаметрами крупной и самой мелкой фракций, тем сильнее влияние на геометрическую структуру.

### Результаты исследования и их обсуждение

Разработана методика расчёта сопротивления слоя при неизотермических условиях на основе позонного разделения слоя. Аэродинамическое сопротивление отдельных зон рассчитывается по уравнению

$$\Delta p_i = h_i \rho_{0i} w_{0i} (k_{1i} v_{ii} + k_{2i} w_{0i} T_i / T_0), \quad (6)$$

где  $h_i$  – высота зоны, м;  $\rho_{0i}$  – плотность газа в зоне, т/м<sup>3</sup>;  $w_{0i}$  – скорость газа в зоне, м/с;  $v_{ii}$  – кинематическая вязкость газа при средней температуре в зоне, м<sup>2</sup>/с;  $T_i$  – средняя температура в зоне, К;  $k_{1i}$ ,  $k_{2i}$  – коэффициенты аэродинамического сопротивления отдельных зон,

$$k_1 = \frac{c_1(1-\varepsilon)^2}{d_s^2 2\varepsilon^3 \psi^2}, \quad k_2 = \frac{c_2(1-\varepsilon)}{d_s^2 2\varepsilon^3 \psi},$$

где  $c_1$ ,  $c_2$  – константы в интерполяционной формуле для коэффициента аэродинамического сопротивления  $\xi = c_1/Re + c_2$ ,  $d_s$  – эквивалентный диаметр зерна;  $\psi$  – коэффициент формы зерна.

Полагая постоянными рассчитанные коэффициенты в каждой зоне, зная темпе-

ратурное распределение по высоте слоя, рассчитывается по уравнению (6) сопротивление отдельных зон и суммированием получают общее сопротивление  $\Delta p = \sum_{i=1}^N \Delta p_i$ .

Сопротивление слоя при высоких температурах во многом определяется свойствами потока, особенно вязкостью. Общеизвестно, что вязкость зависит от состава газового потока и сильно от температуры [13, 14]. Часто зависимость кинематической вязкости от температуры представляют в виде многочлена второй степени по температуре:  $\nu_i = A_1 T + A_2 T^2$ .

Предлагается методика расчёта сопротивления неизотермического слоя как условно изотермического по температуре эквивалентной, которая определяется как

$$T_{\text{экр}} = \sqrt{\left( \frac{w_0 k_2 + A_1 k_1}{2k_1 A_2 T_0} \right)^2 + \frac{\Delta p}{h \rho_0 w_0 k_1 A_2} - \frac{w_0 k_2 + A_1 k_1 T_0}{2k_1 A_2 T_0}}. \quad (7)$$

Температура, рассчитанная по этой формуле, на 5–15% выше среднеинтегральной, следовательно, не рекомендуется рассчитывать сопротивление по среднеинтегральной температуре.

Для исследования сопротивления полифракционного слоя при неизотермических условиях нами использовалась засыпка фосфоросодержащего рудного сырья гранулометрического состава, представленного в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав фосфоросодержащего рудного сырья

$d_p$ , мм	60	45	35	25	12,5	2,5
$\xi_i$	0,0595	0,201	0,293	0,289	0,152	0,005

Прогрев слоя осуществляется продуктам сгорания пропан-бутановой смеси следующего состава:

$$x_{\text{CO}_2} = 6.53\%, \quad x_{\text{O}_2} = 8.78\%,$$

$$x_{\text{N}_2} = 74.3\%, \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = 10.3\%.$$

Динамическая вязкость смеси рассчитывалась по формуле Хеннинга и Цепперера:

$$\mu_{\text{см}} = \frac{\sum x_i \mu_i \sqrt{M_i T_{\text{кpi}}}}{\sum x_i \sqrt{M_i T_{\text{кpi}}}},$$

где  $x_i$  – молярная доля,  $\mu_i$  – вязкость,  $M_i$  – молекулярная масса,  $T_{\text{кpi}}$  – критическая температура  $i$ -го компонента.

Изменение динамической вязкости от температуры рассчитывалось по формуле Улыбина:

$$\mu_{см, t} = \mu_{см}^0 (T/T_0)^{\sum_i x_i m_i},$$

где

$$\sum_i x_i m_i = \sum_i x_i A_i + \left( \sum_i x_i B_i \right) \cdot t \cdot 10^{-4} + \left( \sum_i x_i C_i \right) \cdot t^2 \cdot 10^{-7}.$$

Коэффициенты многочлена  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  для различных газов представлены в табл. 2.

**Таблица 2**

Постоянные аппроксимационного многочлена в формуле динамической вязкости

Газ	A	B	C	$\sum_i x_i m_i$
CO <sub>2</sub>	0,942	2,1	0,56	115,5
O <sub>2</sub>	0,76	1,4	0,64	70,2
N <sub>2</sub>	0,753	1,3	0,4	59,5
H <sub>2</sub> O	1,082	0,25	0	108

Расчёт аэродинамического сопротивления полифракционного слоя при неизотермических условиях производился по уравнению (5), при этом принимались постоянными константа Козени – Кармана, полученная при температуре  $T_0 = 273$  К, и инерционная составляющая, равные соответственно  $K = 7$  и  $K = 1,2$ .

Сопротивление рассчитывалось численным интегрированием по высоте слоя:

$$\frac{\Delta p}{H} = \int_0^H \left( \frac{s_0^2 \mu(t) K}{\varepsilon^3} w_0 \frac{T(h)}{T_0} + \frac{s_0 \rho(t)}{2\varepsilon^3} w_0^2 \frac{T^2(h)}{T_0^2} \right) dh. \quad (8)$$

Использование условно изотермического слоя по эквивалентной температуре, рассчитанной по (7) даже для слабонеизотермических распределений, даёт значительное отклонение от уравнения (8). Эквивалентные температуры значительно превышают среднеинтегральные и в некоторых случаях превышают максимальную температуру в слое, что лишено физического смысла [15].

Следует рассчитывать сопротивление в неизотермическом полифракционном слое по уравнению (8).

### Заключение

По проведенным в работе исследованиям аэродинамики полифракционных засыпок в изотермических и неизотермических условиях на примере смесей шаров и кускового фосфоросодержащего рудного сырья можно сделать следующие выводы.

1. Структура слоя из смеси шаров зависит от степени неоднородности. Минимальная порозность слоя соответствует весовой доле мелкой фракции 30 %.

2. Получены значения константы Козени – Кармана и инерционной составляющей для двух значений коэффициента неоднородности.

3. При неизотермических условиях расчёт сопротивления слоя необходимо проводить с учётом изменения свойств потока газа-теплоносителя. Расчёт по среднеинтегральным температурам условно изотермического слоя приводит к значительным погрешностям.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00335, <https://rscf.ru/project/22-11-00335/>.*

### Список литературы

1. Пучков А.Ю., Лобанева Е.И., Култыгин О.П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1.
2. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 1. С. 11–22.
3. Новичихин А.В., Шорохова А.В. Процедуры управления поэтапной переработкой железорудных отходов горнопромышленных районов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 60. № 7. С. 565–572.
4. Курилин С.П., Соколов А.М., Прохимнов Н.Н. Компьютерная программа для моделирования показателей технического состояния электромеханических систем // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 105–119. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-105-119.
5. Бобков В.И., Мищенко М.Н. Исследование теплофизических характеристик окомкованного фосфатного материала // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7–1. С. 26–29.
6. Бобков В.И. Энергосбережение в технологии сушки материала в плотном слое на основе интенсификации теплообмена // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–4. С. 585–589.
7. Ильин И.В., Лёвина А.И., Калязина С.Е. Function-oriented approach to mining enterprise automation // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 5–19. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-5-19.
8. Tian Y., Qin G., Zhang Y., Zhao L., Yang T. Experimental research on pellet production with boron-containing concentrate. Characterization of Minerals, Metals, and Materials. 2020. P. 91–102.
9. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 8. С. 53–57.
10. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщённая структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48–52.
11. Kossov A. Effect of thermal inertia-induced distortions of DSC data on the correctness of the kinetics evaluated. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2021. Т. 143. № 1. С. 599–608.

12. Dli M.I., Vlasova E.A., Sokolov A.M., Morgunova E.V. Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language. *Journal of Applied Informatics*. 2021. Vol. 16. No. 1 (91). P. 22–31.

13. Бобков В.И. Оптимизация химико-технологического процесса сушки в стационарном режиме многослойной массы фосфоритовых окатышей по критерию энергоресурсоэффективности // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 5. С. 25–29.

14. Kavchenkov V.P., Kavchenkova E.V., Chernenkov I.D. Modeling of the relationship between the earth population growth and the electric energy production processes. *Journal of Applied Informatics*. 2021. Vol. 16. No. 4 (94). P. 110–121.

15. Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Yusupkhodaev A.A. Technological parameters of the process of producing metallized iron concentrates from poor raw material. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. No. 8 (11) P. 600–603.