

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ БАРАБАННОГО СЕПАРАТОРА

На основании теоретических и экспериментальных исследований, полученных на физической модели, найдена вероятная модель образования флоккул для расчета сил действующих на флоккулу в рабочей зоне барабанного сепаратора. Анализ модели показывает, что интенсивность магнитного поля, необходимая для извлечения флоккулы существенно меньше, чем для извлечения отдельной ферромагнитной частицы. Это обстоятельство дает возможность количественно определять приведенную силу магнитного поля H_{gradH} при синтезе электромагнитной системы барабанного сепаратора.

Ключевые слова: магнитная сепарация, силы магнитного поля, флоккула.

1. Образование флоккул

Принцип работы электромагнитного сепаратора типа ЭБМ заключается в том, что процесс сепарации осуществляется в ванне с пульпой (водная суспензия угля, породы, твердых немагнитных примесей и мелкодисперсного магнетита). Из этой пульпы необходимо извлечь магнетит. Экспериментально установлено [3], что в магнитном поле мелкодисперсный магнетит образует флоккулы. Извлечение из пульпы производится не отдельных частиц, а флоккул. Для извлечения флоккул нужно менее интенсивное магнитное поле, чем для извлечения отдельной частицы магнетита. Это обстоятельство требует рассмотреть процесс образования флоккул и определить необходимую силовую характеристику магнитного поля $f=H_{gradH}$ (приведенную магнитную силу) [1,2], в рабочей зоне сепаратора, которая послужит исходной данной при синтезе. Сепараторы типа ЭБМ относятся к сепараторам с противоточной ванной. При номинальной производительности по твердому (магнитному и немагнитному) материалу пульпа в начале концентрической рабочей зоны не расслаивается [3], потому, что пульпа из распределительного короба через порожек поступает в концентрическую зону сепаратора. Процесс извлечения начинается практически сразу, как только пульпа выходит из распределительной щели. У входа в концентрическую зону пульпа имеет значительную турбулентность, это способствует равномерному по сечению потока распределению твердого (магнитного и немагнитного) материала. В этот момент извлекается практически 80% магнитного материала. По мере движения по концентрической зоне и извлечения части магнитного материала, плотность пульпы уменьшается и ее движение приобретает ламинарный характер. В магнитном поле пульпа начинает расслаиваться, и в ней образуются флоккулы. Флоккулы захватывают часть немагнитного материала. Во время движения по концентрической зоне происходит доизвлечение магнитного материала, что способствует улучшению качества концентрата.

Попадая на поверхность барабана, флоккулы с содержанием части немагнитного материала, уходят в концентрат, ухудшая его качество. В то же время образование флоккул улучшает сепарацию за счет увеличения размеров флоккулы по сравнению с размерами частицы магнитного материала. Если допустить, что пульпа однородна и твердые магнитные частицы равномерно распределены по всему объему в концентрической зоне сепаратора и находятся в области внешнего магнитного поля напряженностью H_0 , то на частицу будет действовать вторичное магнитное поле, создаваемое соседними частицами H_E и размагничивающее поле самой частицы H_D (см. рис. 1), тогда суммарное магнитное поле в месте нахождения частицы определится из уравнения (1),

$$\vec{H}_{\Sigma} = \vec{H}_0 + \vec{H}_E - \vec{H}_D . \quad (1)$$

Размагничивающее поле самой частицы зависит от размагничивающего фактора и намагниченности частицы:

$$\vec{H}_D = N \vec{I} , \quad (2)$$

где N – размагничивающий фактор, I – намагниченность частицы.

Значение H_E определяется из работы [4]:

$$H_E = NI(1 - \varepsilon) . \quad (3)$$

Здесь $(1 - \varepsilon)$ – концентрация магнитных частиц. Подставим (2) и (3) в (1), получим:

$$N_{\Sigma} = H_0 + NI(1 - \varepsilon) - NI . \quad (4)$$

После преобразований (4) суммарная напряженность магнитного поля в месте нахождения частицы определится из уравнения:

$$H_{\Sigma} = H_0 - NI\varepsilon . \quad (5)$$

В ваннах сепараторов режим движения пульпы выбирается таким, чтобы скорость пульпы относительно флоккул равнялась нулю, а потому на флоккулу не действует сила напора в направлении вектора средней скорости пульпы [3]. Как следствие, скорость пульпы равна скорости флоккулы $U_{\phi} = U_{п}$.

Магнитная сила
$$P_M = \mu_0 \int_V \chi H \text{grad} H dV, \quad (9)$$

где $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м; χ – удельная магнитная восприимчивость флоккулы; $\text{м}^3/\text{Кг}$; H – напряженность магнитного поля в месте, где находится флоккула, А/м; $\text{grad} H$ – градиент напряженности в месте, где находится флоккула, А/м²; V – объем флоккулы, м³.

Если пренебречь изменением напряженности и градиента напряженности в области объема флоккулы, то магнитная сила примет вид:

$$P_M = \mu_0 \chi V H \text{grad} H. \quad (10)$$

Сила вязкости возникает при перемещении флоккулы в пульпе.

Сила вязкости
$$P_{\mu} = \frac{18 \mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}, \quad (11)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости (для воды равен 10^{-4} Н с/м²); d_{ϕ} – средний диаметр флоккулы (см. рис.3) [3], м.

При движении пульпы на коротком участке в рабочей зоне наблюдается близкое к ламинарному движение пульпы. Поэтому средняя и максимальная скорости пульпы совпадают.

Сила напора находится из уравнения [3]:

$$P_H = \frac{3 \gamma_B c_L}{4 \gamma_T d_{\phi}} \Delta v_{\phi}^2, \quad (12)$$

где c_L – коэффициент лобового сопротивления флоккулы; Δv_{ϕ} – скорость турбулентных пульсаций.

Сила напора действует на флоккулу равномерно во всех направлениях, и при массовом движении флоккул все турбулентные импульсы взаимно компенсируются, поэтому результирующая сила напора, действующая на флоккулу, равна нулю. В итоге на флоккулу действует результирующая сила, равная векторной сумме перечисленных сил:

$$\vec{P}_{\Sigma} = \vec{P}_g + \vec{P}_{\omega} + \vec{P}_M + \vec{P}_{\mu}. \quad (13)$$

В развернутом виде результирующая сила с учетом направления их действия примет вид:

$$P_{\Sigma} = \mu_0 \chi H \text{grad} H - \frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g - \frac{v_{\phi}^2}{r_{KP}} - \frac{18 \mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}. \quad (14)$$

На рис.2. изображена схема действующих сил в наиболее неблагоприятном их расположении, препятствующих извлечению флоккул.

Магнитная сила направлена к центру барабана, в то время как сила веса, центробежная сила и сила вязкости направлены от центра барабана, а значит, препятствуют извлечению флоккул. Учитывая это обстоятельство, можно записать неравенство, характеризующее условие начала гарантированного движения флоккул в направлении к поверхности барабана, а именно:

$$\mu_0 \chi H \text{grad} H \geq \frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g + \frac{v_{\phi}^2}{r_{KP}} + \frac{18 \mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}. \quad (15)$$

Обозначая $T(B) = \mu_0 \chi$, а $f = H \text{grad} H$, получим неравенство:

$$f \geq \frac{1}{T(B)} \left(\frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g + \frac{v_{\phi}^2}{r_{KP}} + \frac{18 \mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2} \right). \quad (16)$$

Это неравенство определяет силовой параметр магнитного поля (приведенную магнитную силу), который является исходной данной в задачах синтеза электромагнитной системы барабанного сепаратора типа ЭБМ предназначенного для извлечения мелкодисперсной фракции пульпы.

В момент трогания флоккулы расположены по сечению концентрической зоны равномерно и

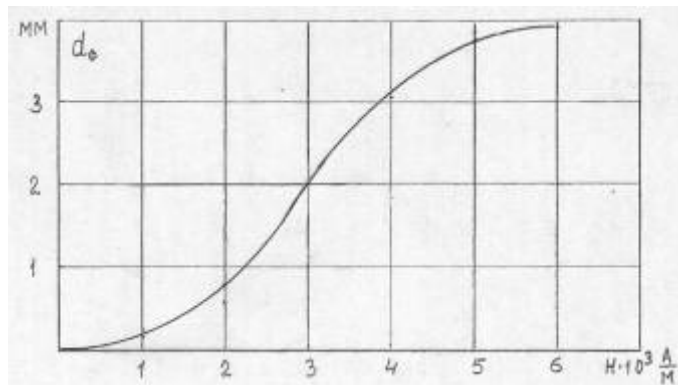


Рис.3. Зависимость размера флоккулы от напряженности внешнего магнитного поля

имеют скорость, равную скорости движения пульпы, а поэтому радиус кривизны ее траектории можно равновероятно определить по среднему арифметическому радиусов барабана и дну ванны.

Вывод: Полученная из анализа сил действующих на флоккулу формула (16) позволяет вычислить необходимую силовую величину параметра магнитного поля в рабочей зоне сепаратора типа ЭБМ для обеспечения гарантированного извлечения магнитного составляющего пульпы, а величина f является исходной данной при синтезе электромагнитной системы барабанного сепаратора типа ЭБМ

Литература

1. Нестеренко И.А., Нестеренко А.П., Серeda Е.А. Аналитический расчёт напряжённости магнитного поля блока магнитной системы барабанного сепаратора. / И.А.Нестеренко, А.П. Нестеренко, Е.А.Серeda/ Электронный ресурс] Вісник СНУ, №2Е, 2008.
2. Нестеренко И.А., Нестеренко А.П., Серeda Е.А. Аналитический расчёт распределения напряжённости магнитного поля между крайним полюсом и половиной полюса блока магнитной системы барабанного сепаратора. / И.А.Нестеренко, А.П. Нестеренко, Е.А.Серeda/ Вісник СНУ, №8 (126),ч.3, 2008.
3. Мladeцкий И.К. Моделирование процесса магнитной сепарации руд / И.К. Мladeцкий, А.Н. Марyта: – К.: «Вища Школа», 1984, 134 с.
4. Brawn W.F. Dielectrics. Encyclopedia of Physics, № 17, Springer. Berlin, Sect.22,1956.

References

1. Nesterenko I.A., Nesterenko A.P., Sereda E.A. Analiticheskijj raschjot naprjzhjonnosti magnitnogo polja bloka magnitnoj sistemy barabannogo separatora. / I.A.Nesterenko, A.P. Nesterenko, E.A.Sereda/ Ehlektronnyjj resurs] Visnik SNU, 'E, 2008.
2. Nesterenko I.A., Nesterenko A.P., Sereda E.A. Analiticheskijj raschjot raspredelenija naprjzhjonnosti magnitnogo polja mezhdju krajnjim poljusom i polovinojj poljusa bloka magnitnoj sistemy barabannogo separatora. / I.A.Nesterenko, A.P. Nesterenko, E.A.Sereda/ Visnik SNU, (126),ch.3, 2008.
3. Mladeckijj I.K. Modelirovanie processa magnitnoj separacii rud / I.K. Mladeckijj, A.N. Marjuta: – K.: «Vihha Shkola», 1984, 134 s.
4. Brawn W.F. Dielectrics. Encyclopedia of Physics, № 17, Springer. Berlin, Sect.22,1956.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих на фізичній моделі, показана верогідна модель утворення флоккул та уточнені формули для розрахунку сил діючих на флоккулу у робочій зоні барабанного сепаратора.

Ключові слова: магнітна сепарація, сили магнітного поля, флоккула.

On the basis of the theoretical and experiment studies received on physical model, the probable model of education флоккул for calculation of forces operating on флоккулу is found in a working zone of a drum separator..

Key words: magnetic separation, magnetic force, flocculus.

Нестеренко И. А., аспирант кафедры электромеханики, ВНУ им. В. Даля.

Нестеренко А.П. доц. кафедры электромеханики, ВНУ им. В. Даля.

Рецензент: Яковенко В.В. д.т.н., профессор, ВНУ им. В. Даля.

FEATURES OF SEPARATION FINE FRACTION THE WORK AREA DRUM SEPARATOR

On the basis of theoretical and experimental investigations derived on the physical model, we find the probability model for the formation of floccules calculating the forces acting on the floccule in the working area of the separator drum. Analysis of the model shows that the intensity of the magnetic field required for retrieval floc is substantially less than for a single ferromagnetic particles extract particles.

Keywords: magnetic separation, magnetic field strength, plage.

The principle of operation of the electromagnetic separator type EBM. The separation process is performed in a bath of slurry (an aqueous suspension of coal, rocks, hard nonmagnetic impurities and fine magnetite). From this pulp recovered magnetite. It was established experimentally [3]. A fine magnetite forms a floc in a magnetic field. Is extracted from the pulp than individual particles, and flocculation. To remove the flocculant to the magnetic field is less intense than for a separate extraction magnetite particles.

It is therefore necessary to consider the process of flocculation and to determine the necessary power characteristic of the magnetic field $f = H \text{grad} H$ (reduced magnetic force) [1,2], in the working area of the separator. The reduced magnetic force is needed as a source for this synthesis. EBM-type separators are separators with bathroom counter. The nominal throughput on hard (magnetic and non-magnetic) material pulp in the early concentric work area does not separate [3], because the pulp of the nut through the distribution box comes in a concentric zone of the separator.

The extraction process begins almost immediately as soon as the pulp comes from the supply gap. At the entrance to the concentric zone pulp has considerable turbulence that facilitates uniform flow distribution over the cross section solid (magnetic and non-magnetic) material. At this time almost 80% of the recovered magnetic material. As traffic on the concentric zone and extracting a portion of the magnetic material, the density of the pulp is reduced and its movement becomes laminar. In a magnetic field, the pulp begins to flake, and it formed floc. Floc capture part of a non-magnetic material.

During motion along the concentric zone is additional recovery of magnetic material, it helps improve the quality of the concentrate.

Getting on the surface of the drum, floc with the content of the non-magnetic material, go to the concentrate, degrading its quality. Education flocculation reduces the need to align the magnetic force. This improves the separation by increasing the floc size compared to the size of one particle of the magnetic material. And at the same time affects the quality of the concentrate.

Assuming homogeneous slurry and solid magnetic particles uniformly dispersed throughout the concentric zone and separator are in the external magnetic field strength H_0 , then the particle will operate the secondary magnetic field generated by the adjacent particles H_E and not particle itself demagnetizing field H_D (look Fig. 1), then the resultant magnetic field at the location of a particle is determined from the equation (1),

$$\vec{H}_\Sigma = \vec{H}_0 + \vec{H}_E - \vec{H}_D . \quad (1)$$

Demagnetizing field of the particle depends on the magnetization and demagnetization factor of the particle:

$$\vec{H}_D = N \vec{I} , \quad (2)$$

where N - the demagnetization factor, I - the magnetization of the particle.

Value is not defined in [4]:

$$H_E = NI(1 - \varepsilon) . \quad (3)$$

Here $(1 - \varepsilon)$ - the concentration of magnetic particles. We substitute (2) and (3) in (1), we get:

$$N_\Sigma = H_0 + NI(1 - \varepsilon) - NI . \quad (4)$$

After transformations, (4) the total strength of the magnetic field at the location of a particle is determined from the equation:

$$H_\Sigma = H_0 - NI\varepsilon . \quad (5)$$

In a place where the particle exerted by the total magnetic field strength is determined from the elementary expression:

$$p_{\text{qM}} = VI \frac{dH_\Sigma}{dr} = VI \frac{d(H_0 - N_\Sigma I_\Sigma \varepsilon)}{dr} , \quad (6)$$

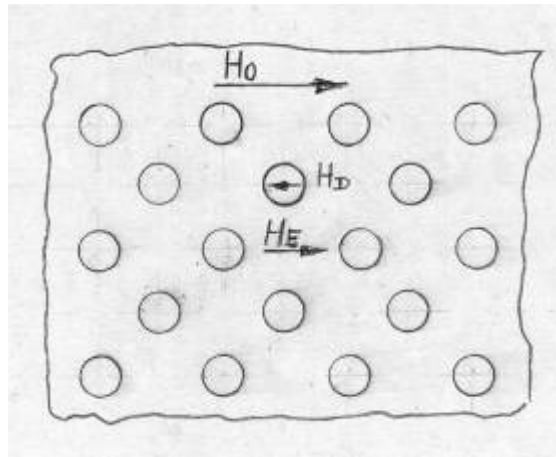


Figure 1. The ferromagnetic particle slurry in the external magnetic field

where V - volume of the particle, r - radial coordinate (taken as the reference center of the drum) N_Σ - demagnetization factor of neighboring particles I_Σ - the magnetization of adjacent particles. This force contributes to the magnetic attraction of smaller particles to larger, forming thus floc.

2. Forces acting on the floccule in the working area of the separator

The process of separation into fractions in the magnetic and non-magnetic separators such as EBM is in the working gap (concentric zone) between the drum and the bottom of the bath. When driving in this zone the

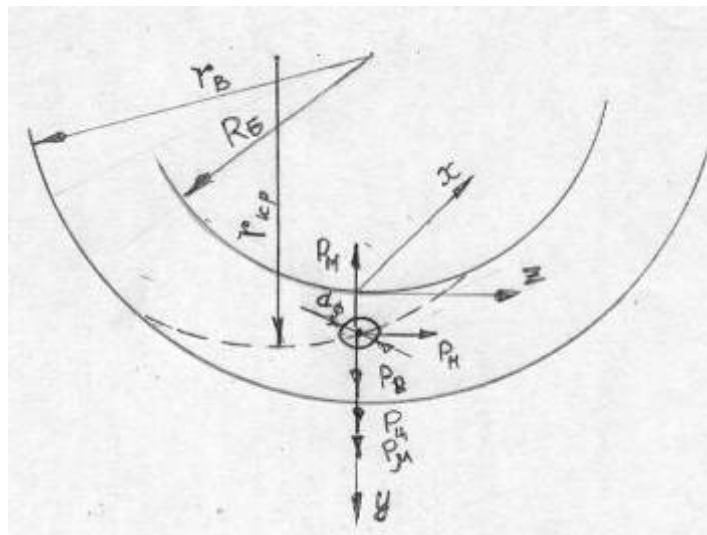


Fig.2. The distribution of the forces acting on the plage in the working area of the separator type EBM

pulp occurs delamination sludge flocculation and the formation at the beginning of the weak field. In counter-current separators on the floc, the following forces: gravity, centrifugal, magnetic, viscosity, pressure Figure 2.

The force of gravity:

$$P_g = \frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g, \quad (7)$$

where γ_T - solid density, kg/m^3 ; γ_v - the density of water; g – acceleration gravity, m/s^2 .

Centrifugal force:

$$P_U = \frac{U_\phi^2}{r_{KP}}, \quad (8)$$

where U_ϕ - the velocity of floc, m/s ; r_{KP} - the radius of curvature of the trajectory of the floc.

In baths pulp separators driving mode is selected so that the speed of the pulp relative to flocculate was zero, and hence does not flocculate on the pressure force acting in the direction of the average velocity of the pulp. [3] As a consequence, the rate equal to the rate of pulp floc $U_{\Phi} = U_{II}$.

Magnetic force:
$$P_M = \mu_0 \int_V \chi H \text{grad} H dV, \quad (9)$$

where $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$; χ - magnetic susceptibility of floc; m^3/kg , H - is the magnetic field at the location where the plate, A/m ; $\text{grad} H$ - intensity gradient in a place where there is a plate, A/m^2 ; V - floc volume, m^3 .

If we ignore variation the tension and the gradient of the tension in the amount of floc, the magnetic force becomes:

$$P_M = \mu_0 \chi V H \text{grad} H. \quad (10)$$

The strength viscosity appears when moving in the pulp floccules.

The strength viscosity:
$$P_{\mu} = \frac{18\mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}, \quad (11)$$

where μ - the coefficient of dynamic viscosity (for water 10^{-4} N s/m^2) d_{ϕ} - average floccules diameter (look Fig. 3) [3].

When driving on a short section of the pulp in the working area there is a close to a laminar movement of the pulp. Thus the average and maximum speed of the pulp match.

The strength the pressure found from the equation [3]:

$$P_H = \frac{3\gamma_B c_{II}}{4\gamma_T d_{\phi}} \Delta v_{\Phi}^2, \quad (12)$$

where c_{II} - coefficient of drag floccules; Δv_{Φ} - the speed of turbulent pulsations.

The strength the pressure acts on the plate evenly in all directions, and the mass movement of floccules all turbulent pulses cancel each other out, so the resultant force of pressure acting on the plates is zero. As a result, the net force acting plate, equal to the vector sum of enumerated forces:

$$\vec{P}_{\Sigma} = \vec{P}_g + \vec{P}_{II} + \vec{P}_M + \vec{P}_{\mu}. \quad (13)$$

Unfolded, the resultant force with respect to the direction of their actions takes the form:

$$P_{\Sigma} = \mu_0 \chi H \text{grad} H - \frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g - \frac{v_{\Phi}^2}{r_{KP}} - \frac{18\mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}. \quad (14)$$

In Figure 2. a diagram of the forces in the most unfavorable location of preventing the extraction of floccules.

The magnetic force is directed towards the center of the drum, while the weight force, the centrifugal force and the viscosity force directed from of the drum, and thus prevent extraction of floccules. With this in mind, we can write the inequality that characterizes the condition for starting the movement guaranteed floccules toward the surface of the drum, as follows:

$$\mu_0 \chi H \text{grad} H \geq \frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g + \frac{v_{\Phi}^2}{r_{KP}} + \frac{18\mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2}. \quad (15)$$

Designating $T(B) = \mu_0 \chi$, and $f = H \text{grad} H$, get the inequality:

$$f \geq \frac{1}{T(B)} \left(\frac{\gamma_T - \gamma_B}{\gamma_T} * g + \frac{v_{\Phi}^2}{r_{KP}} + \frac{18\mu v_{\phi}}{\gamma_T d_{\phi}^2} \right). \quad (16)$$

This inequality determines the power setting of the magnetic field (the reduced magnetic force), which is the source of the problems in the synthesis of an electromagnetic separator drum type EBM designed to extract fine fraction pulp.

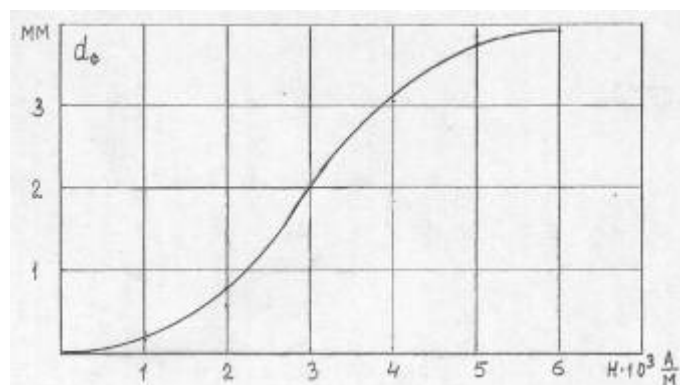


Figure 3. The dependence of the floccules size from of tension the external magnetic field

In the breakaway torque floccules arranged in concentric zone section evenly and have a velocity equal to the velocity of the pulp and therefore the radius of curvature of its path can be determined with equal probability arithmetic average radii of the drum and the bottom of the bath.

Conclusions: The analysis of the forces acting on the plates formula (16) allows us to calculate the necessary size the force parameters of the magnetic field in the working area of the separator type EBM to provide guaranteed recovery of the magnetic component of the pulp, and the magnitude of f is the source of the electromagnetic system in the synthesis of a drum-type separator EBM.

References

1. Nesterenko I.A., Nesterenko A.P., Sereda E.A. Analiticheskijj raschjot naprjazhjonosti magnitnogo polja bloka magnitnoj sistemy barabannogo separatora. / I.A.Nesterenko, A.P. Nesterenko, E.A.Sereda/ Ehlektronnyj resurs] Visnik SNU, 'E, 2008.
2. Nesterenko I.A., Nesterenko A.P., Sereda E.A. Analiticheskijj raschjot raspredelenija naprjazhjonosti magnitnogo polja mezhdu krajnim poljusom i polovinoj poljusa bloka magnitnoj sistemy barabannogo separatora. / I.A.Nesterenko, A.P. Nesterenko, E.A.Sereda/ Visnik SNU, (126),ch.3, 2008.
3. Mladeckijj I.K. Modelirovanie processa magnitnoj separacii rud / I.K. Mladeckijj, A.N. Marjuta: – K.: «Vihha Shkola», 1984, 134 s.
4. Brawn W.F. Dielectrics. Encyclopedia of Physics, № 17, Springer. Berlin, Sect.22,1956.

Nesterenko I.A., graduate student Electromechanics, East Ukrain National University. Vladimir Dal.

Nesterenko A.P. senior lecturer Department of Electromechanics, East Ukrain National University. Vladimir Dal.

Reviewer: V. Yakovenko professor, East Ukrain National University. Vladimir Dal.