

УДК 663.915

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ (ЭПЛ)

Беззубцева М.М., Волков В.С.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: mysnegana@mail.ru*

В статье приведены результаты исследований физико-механических процессов в рабочем объеме электромагнитных плотномеров (ЭПЛ), предназначенных для проведения экспресс-анализа загрязненности технологических сред. Представлена конструктивная форма ЭПЛ, основанного на использовании энергии постоянного по знаку электромагнитного поля, и представляющая предмет изобретения. Проанализирован механизм формирования сцепляющего усилия в слое ферромагнитных примесей ЭПЛ, образующихся в процессе тонкого (2–10 мкм) и сверхтонкого (около 0,5 мкм) измельчения различных материалов (пигментов, угля, золы и др.), используемых при изготовлении красок и грунтов с целью повышения укрывистости и прочности лакокрасочного покрытия. Выявлен объективный критерий, определяющий количество ферромагнитных примесей в исследуемых средах. Проанализирован экспресс-метод определения содержания ферромагнитных примесей (магнитного порошка), основанный на измерении ряда физических характеристик анализируемой технологической среды при воздействии на нее электромагнитным полем.

Ключевые слова: электромагнитный плотномер, ферромагнитные примеси, критерий загрязненности технологических сред

THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES IN THE WORKING VOLUME OF THE ELECTROMAGNETIC DENSITOMETERS

Bezzubtseva M.M., Volkov V.S.

St.-Peterburg Agrarian University, St.-Peterburg, e-mail: mysnegana@mail.ru

The article provides results of study of physical and mechanical processes in the working volume of the electromagnetic densitometers that target to express analysis of contamination of processes fields by ferromagnetic impurities. There is a design scheme of electromagnetic densitometers in the article, which based on the using of energy of electromagnetic field with a constant sign and this one is the invention. We analyzed the mechanism of formation of bonding force in the layer of ferromagnetic impurities of electromagnetic densitometers formed in the process of fine (2–10 microns) and superfine (about 5 microns) grinding of various materials (pigment, coal, ash used in the manufacture of paints and primers for opacities increasing and paintwork's strength). There is the objective criteria defining a number of impurities in investigated environments.

Keywords: electromagnetic densitometer, ferromagnetic impurities, criteria of contamination of technological environments

Эффект «намола» [9, 10], вызванный износом рабочих органов измельчителей (механоактиваторов), нарушает режимы работы машиностроительного оборудования и технологию переработки материалов различного целевого назначения, приводит к снижению энергоэффективности предприятий и к дополнительным затратам, связанным с их ремонтом и браком выпускаемой продукции. Загрязнение продуктов металлопримесями является одним из нежелательных явлений, ухудшающих качество готовых изделий и требующих затрат на использование в технологических линиях производства дополнительного оборудования – электросепараторов [2]. Наибольший «напол» железа происходит на стадии тонкого (2–10 мкм) и сверхтонкого (около 0,5 мкм) измельчения различных материалов: пигментов, грунтов, полимерных материалов, угля, золы, цемента и др. Разработка диа-

гностического прибора – электромагнитного плотмера (ЭПЛ) для проведения экспресс-анализа загрязненности технологических сред проведена на основании закономерностей, полученных в результате исследований физико-механических процессов, происходящих в магнитооживленном слое ферромагнитных примесей в постоянном электромагнитном поле [3, 7, 8].

Цель работы – исследование закономерностей электромагнитного способа диагностики загрязненности технологических сред ферромагнитными примесями, образованными в результате намола рабочих органов перерабатывающего оборудования.

Материалы и методы исследований

Предметом исследований являются физико-механические процессы в магнитооживленном слое ферромагнитных примесей, определяющие закономерности электромагнитного способа экспресс-диагностики загрязненности технологических сред.

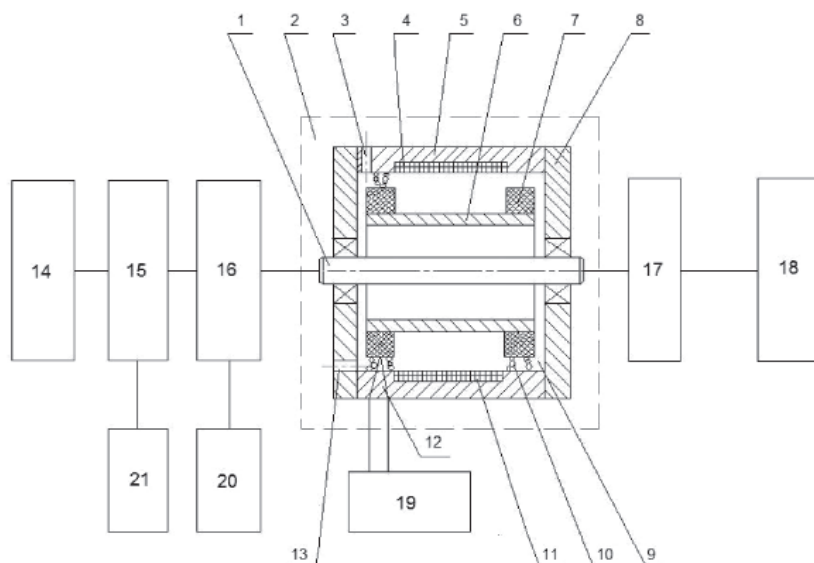


Рис. 1. Конструктивная схема электромагнитного плотномера:
 1 – вал; 2 – датчик; 3 – отверстие; 4 – обмотка управления; 5 – неподвижный наружный цилиндр; 6 – подвижный внутренний цилиндр; 7 – ребра цилиндра; 8 – подшипниковые щиты;
 9 – рабочий объем; 10 – ферропримеси; 11 – кольцевой паз; 12 – датчик температуры;
 13 – отверстие для слива; 14 – привод; 16 – соединяющее устройство; 17 – диск;
 18 – маховик; 19 – индуктор; 20 – секундомер, фиксирующий время от момента отключения привода до полного прекращения вращения вала; 21 – индикатор

Результаты исследования и их обсуждение

Конструкция электромагнитного плотномера [12], основанного на способе формирования сцепляющего усилия ферромагнитного порошка в постоянном по знаку и регулируемом по величине электромагнитном поле [1, 4, 5, 6], представлена на рис. 1.

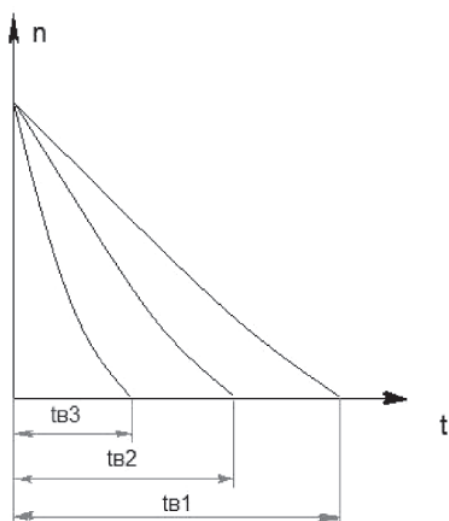


Рис. 2. Зависимость $n = \varphi(t)$:
 t_{B1} , t_{B2} , t_{B3} – время «выбега» с незаполненным рабочим объемом ЭПЛ, с «чистой» и с загрязнённой технологической средой

В ЭПЛ температура исследуемых технологических сред устанавливается на основании графического или табличного значения $T_{\text{выбега}} = \varphi$ (загрязненность среды) при $t_0 = \text{const}$ (рис. 2). При достижении заданных значений частоты вращения вала 6 и температуры внесённой в объем 9 технологической среды отсоединяется вал 6 через устройство 16 от привода 14 с одновременным включением секундомера 20 для определения времени вращения вала 6 по инерции (выбега) до полного его «останова».

Момент «останова» фиксируется по диску 17 и сопровождается одновременным выключением секундомера 20. Время вращения вала 1 с цилиндром 6 по инерции (выбег) будет характеризовать степень загрязнения исследуемой технологической среды различными примесями 10 (по отношению к состоянию «чистая» среда), что позволяет оценить наличие в ней ферропримесей и степень износа деталей и узлов оборудования, выполненных из ферромагнитного материала. Для определения и оценки наличия в контролируемой среде ферромагнитных частиц, характеризующих износ деталей и узлов оборудования, необходимо после первого исследования пробы технологической среды, внесённой через отверстие 13 в пространство 9, выполнить следующий опыт. При этом через обмотку управления 4 пропускают постоянный

ток от источника питания, который при известном его значении и определенном количестве витков обмотки управления 4 создает в зазоре между поверхностью неподвижного наружного цилиндра 5 и вершинами ребер 7 на внутреннем подвижном цилиндре 6 индукцию $B = 0,3-0,5$ Тл. В результате дополнительного механического воздействия системы: неподвижный ферромагнитный цилиндр 5 – частицы ферромагнитного материала 10 – подвижный цилиндр 6 с ребрами 7 при действии в объеме 9 магнитного поля, создаваемого обмоткой управления 4, по виткам которой протекает постоянный ток, время выбега $T_{\text{выбега}}$ вала 6 будет существенно меньше времени выбега $T_{\text{в1}}$ и $T_{\text{в2}}$, что свидетельствует о наличии в жидкости феррочастиц 10. Величина, характеризующая сокращение времени выбега, позволяет оценить степень загрязненности технологической среды примесями и ферромагнитными частицами 10. Качественную оценку необходимо выполнять, располагая заранее подготовленными при лабораторных исследованиях таблицами или графическими зависимостями, связывающими между собой (при прочих заданных условиях) величину сокращения времени выбега при загрязнении среды механическими примесями и при наличии магнитного поля, а также загрязнении среды ферромагнитной составляющей.

С помощью обмотки управления 4 на подвижном цилиндре 6 легко устанавливать в объеме испытываемой среды необходимое значение индукции и (при прочих равных условиях) выявлять наличие ферропримесей в контролируемой технологической среде, производя сравнительную количественную оценку. Увеличение махового момента вала 6 достигается установкой на его валу маховика 18, что позволяет расширить» шкалу времени выбега $T_{\text{выбега}}$, улучшая условия и точность отчета показаний. В зависимости от полученного результата и графической зависимости времени выбега от загрязненности технологической среды примесями вообще и ферромагнитными в частности можно осуществлять выбор оптимальной технологической схемы оборудования и режимов технологии очистки среды по степени загрязненности.

Согласно проведенным исследованиям, время останова зависит от количества ферромагнитной составляющей в технологической среде и определяется значением тангенциальной составляющей сдвига в слое ферропорошка (магнитооживленного слоя) [11] в рабочем объеме ЭПЛ. Традиционно

коэффициент заполнения K_V рабочего объема ферропримесями определяют по формуле

$$K_V = \frac{G_{\text{Fe}}}{g_{\text{Fe}} V}, \quad (1)$$

где G_{Fe} – вес ферромагнитных частиц в смеси; g_{Fe} – удельный вес материала частиц ферромагнитной составляющей; V – объем ферропримесей.

Между тем эта формула для определения K_V носит субъективный характер. Для определения коэффициента заполнения объема рабочего объема ЭПЛ целесообразно использовать формулу

$$K_{V_{\text{зап}}} = \frac{V_{\text{зап}}}{V_{\text{рз}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{зап}}$ – объем заполнителя.

Объем порошкового заполнителя складывается из объемов по крайней мере двух порошкообразных компонентов

$$V_{\text{зап}} = (V_{K_1} + V_{K_2}) K_3, \quad (3)$$

где V_{K_1} – объем первой компоненты (ферропримесь); V_{K_2} – объем второй компоненты (твердая основа – исследуемая среда); K_3 – коэффициент, учитывающий различие в форме частиц компонентов заполнителя. Этот коэффициент характеризует плотность заполнения единичного объема.

Объем, занимаемый частицами первой компоненты, определяется по формуле

$$V_{K_1} = \frac{G_{\text{Fe}}}{g_{\text{Fe}}} K_1, \quad (4)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий влияние формы частиц ферропримеси на величину занимаемого им объема (его численное значение определяется по формулам для частиц сферической и неправильной формы).

Объем, занимаемый частицами второй компоненты, определяется по формуле

$$V_{K_2} = \frac{G_{\text{ТВ.ОСН}}}{g_{\text{ТВ.ОСН}}} K_2, \quad (5)$$

где $G_{\text{ТВ.ОСН}}$ – вес твердой основы; $g_{\text{ТВ.ОСН}}$ – удельный вес материала твердой основы; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние формы частиц на величину занимаемого ими объема.

Объем, занимаемый заполнителем, состоящим из двух компонентов, определяется выражением

$$V_{\text{зап}} = \left(\frac{G_{\text{Fe}}}{g_{\text{Fe}}} K_1 + \frac{G_{\text{ТВ.ОСН}}}{g_{\text{ТВ.ОСН}}} K_2 \right) K_3. \quad (6)$$

Таким образом, коэффициент заполнения рабочего объема ЭПЛ заполнителем (исследуемой технологической средой) предлагается вычислять по формуле

$$K_{V_{\text{зап}}} = \frac{1}{V_{P3}} \left(\frac{G_{\text{Fe}}}{g_{\text{Fe}}} K_1 + \frac{G_{\text{ТВ.ОСН}}}{g_{\text{ТВ.ОСН}}} K_2 \right) K_3. \quad (7)$$

Исследования показали, что величина, определенная по формуле (7), не зависит от субъективных действий экспериментатора.

Определение величин B и H в рабочем объеме ЭПЛ производилось баллистическим

бочего объема ЭПЛ: $K_{V_{\text{Fe}}} = 0,27$; $K_{V_{\text{Fe}}} = 0,405$ и $K_{V_{\text{Fe}}} = 0,54$. Результаты опытов приведены в виде графических зависимостей $B = \varphi(H)$ на рис. 3. Эмпирическая формула, описывающая зависимость $B = \varphi_1(H)$ исследуемой модельной системы при $K_{V_{\text{Fe}}} = 0,405$, имеет вид

$$B = \frac{H}{0,305 + 0,41 \cdot 10^{-4} H}. \quad (8)$$

Значения индукции B , вычисленные по формуле (6), дают хорошее совпадение с соответствующими точками на опытной кривой $B = \varphi_1(H)$.

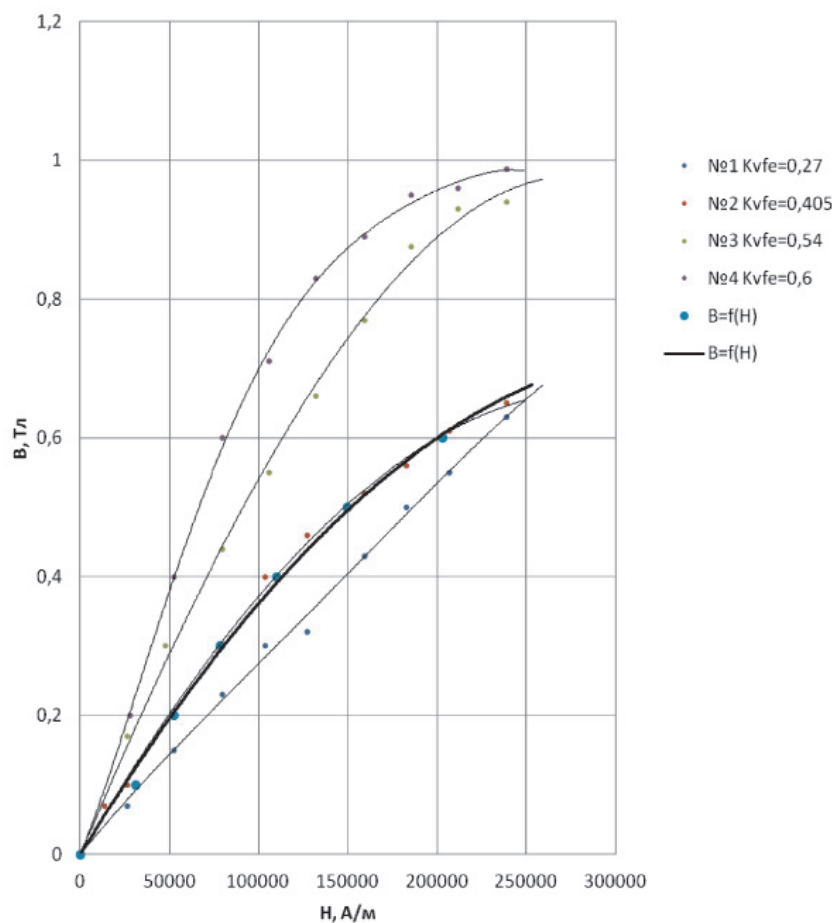


Рис. 3. График зависимости $B = \varphi(H)$ в рабочем объеме ЭПЛ

методом. Высоту рабочего объема диагностического прибора устанавливали равной $\delta = 0,5$ мм. Исследовалась модельная технологическая среда (ферромагнитный порошок с размерами частиц в диапазоне от 5 до 10 мкм в смеси с порошкообразной слюдой). В рабочий объем V_{P3} вносилось 35; 52; 70 г ферропримесей, что соответствовало значениям коэффициентов заполнения ра-

Заключение

На основании анализа результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что значения тангенциального усилия сдвига для исследуемых технологических сред, определенные с использованием представленных математических зависимостей, будут содержать (при прочих равных условиях) их единственные значения.

Список литературы

References

1. Беззубцева М.М., Волков В.С., Губарев В.Н. Способ диагностики загрязненности технологических сред ферропримесями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 1. – С. 60 – 62.
2. Беззубцева М.М., Волков В.С., Загаевски Н.Н. Исследование процесса электромагнитной механоактивации (ЭММА) строительных смесей. В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава / Редакция: Н.Б. Алати, А.И. Анисимов, М.А. Арефьев, С.М. Бычкова, Ф.Ф. Ганусевич, Г.А. Ефимова, В.Н. Карпов, А.П. Картошкин, М.В. Москалев, М.А. Новиков, Г.С. Осипова, Н.В. Пристач, Д.А. Шишов; главный редактор: В.А. Ефимов, заместитель главного редактора: В.А. Смелик. – 2015. – С. 435–438.
3. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Определение сил и моментов, действующих на систему ферромагнитных размоленных элементов цилиндрической формы в магнитоожигенном слое рабочего объема электромагнитных механоактиваторов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 504–508.
4. Беззубцева М.М., Воронов М.С.К вопросу исследования контактных взаимодействий в аппаратах с магнитоожигенным слоем // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 9. – С. 83–85.
5. Беззубцева М.М., Мазин Д.А., Зубков В.В. Исследование коэффициента объемного заполнения ферромагнитной составляющей в аппаратах с магнитоожигенным слоем // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 23. – С. 371–376.
6. Беззубцева М.М., Назаров И.Н. Исследование электромагнитного способа оценки степени загрязненности технологических сред примесями // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 17. – С. 240–246.
7. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования физико-механических процессов в магнитоожигенном слое ферротел // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7–2. – С. 191–195.
8. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Волков В.С. Теоретические исследования деформированного магнитного поля в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов с магнитоожигенным слоем размоленных элементов цилиндрической формы // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–4. – С. 689–693.
9. Беззубцева М.М., Смелик В.А., Волков В.С. Исследование закономерностей износа ферроэлементов магнитоожигенного слоя электромагнитных механоактиваторов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–20. – С. 4398–4402.
10. Беззубцева М.М. К вопросу исследования эффекта намолы в аппаратах с магнитоожигенным слоем ферротел // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8–3. – С. 96.
11. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Модель образования сцепляющего усилия в ЭПМ // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 1987. – № 10. – С. 91.
12. Соколов А.В., Беззубцева М.М. Устройство для оценки степени загрязнения жидкостей примесями. Полезная модель № 11343 (G01N11/10).

1. Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Gubarev V.N. Sposob diagnostiki zagrjaznennosti tehnologicheskikh sred ferropri-mesjami // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2014. no. 1. pp. 60–62.
2. Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Zagaevski N.N. Issledovanie processa jelektromagnitnoj mehanooaktivacii (JeMMA) stroitelnyh smesej. V sbornike: Nauchnoe obespechenie razvitija APK v uslovijah reformirovanija materialy nauchno-prakticheskoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava. Redkollegija: N.B. Alati, A.I. Anisimov, M.A. Arefev, S.M. Bychkova, F.F. Ganusevich, G.A. Efimova, V.N. Karpov, A.P. Kartoshkin, M.V. Moskaev, M.A. Novikov, G.S. Osipova, N.V. Pristach, D.A. Shishov; glavnyj redaktor: V.A. Efimov, zamestitel glavnogo redaktora: V.A. Smelik. 2015. pp. 435–438.
3. Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Obuhov K.N., Koto-v A.V. Opredelenie sil i momentov, dejstvujushhih na sistemu ferromagnitnyh razmolnyh jelementov cilindricheskoj formy v magnitoozhizhennom sloe rabocheho obema jelektromagnitnyh mehanooaktivatorov // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 11–3. pp. 504–508.
4. Bezzubceva M.M., Voronov M.S.K voprosu issledovani-ja kontaktnyh vzaimodejstvij v apparatah s magnitoozhizhen-nyim sloem Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimentalnogo obra-zovanija. 2015. no. 9. pp. 83–85.
5. Bezzubceva M.M., Mazin D.A., Zubkov V.V. Issle-dovanie koeficienta obemnogo zapolnenija ferromagnitnoj sostavljajushhej v apparatah s magnitoozhizhennym sloem // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. no. 23. pp. 371–376.
6. Bezzubceva M.M., Nazarov I.N. Issledovanie jelektromagnitnogo sposoba ocenki stepeni zagrjaznennosti tehnologicheskikh sred primesjami // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. no. 17. pp. 240–246.
7. Bezzubceva M.M., Obuhov K.N. K voprosu issledovani-ja fiziko-mehaničeskikh processov v magnitoozhizhennom sloe ferrotel // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2015. no. 7–2. pp. 191–195.
8. Bezzubceva M.M., Ruzhev V.A., Volkov V.S. Teoreticheskie issledovanija deformirovannogo magnitnogo polja v rabochem obeme jelektromagnitnyh mehanooaktivatorov s magnitoozhizhennym sloem razmolnyh jelementov cilindricheskoj formy // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 6–4. pp. 689–693.
9. Bezzubceva M.M., Smelik V.A., Volkov V.S. Issle-dovanie zakonornostej iznosa ferrojelementov magnitoozhizhennogo sloja jelektromagnitnyh mehanooaktivatorov // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2–20. pp. 4398–4402.
10. Bezzubceva M.M. K voprosu issledovanija jeffekta namola v apparatah s magnitoozhizhennym sloem ferrotel // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimentalnogoobrazovanija. 2014. no. 8–3. pp. 96.
11. Pugovkin P.R., Bezzubceva M.M. Model obrazovanija scepplajushhego usilija v JePM // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jelektromehanika. 1987. no. 10. pp. 91.
12. Sokolov A.V., Bezzubceva M.M. Ustrojstvo dlja ocenki stepeni zagrjaznenija zhidkostej primesjami. Poleznaja model no. 11343 (G01N11/10).