

УДК 663.915

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АППАРАТОВ С МАГНИТООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ РАЗЛИЧНОГО ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Беззубцева М.М., Волков В.С., Стоборева М.Н., Дзюба А.А.

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

В статье рассмотрены методы повышения надежности работы аппаратов с магнитоожигенным слоем путем создания заданных условиями производства целенаправленной переориентации феррочастиц в центральной части рабочих объемов (зазоров) устройств различного целевого назначения (электромагнитных механоактиваторов, электромагнитных смесителей, электромагнитных плотномерах, электромагнитных порошковых муфтах и др.). На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований подтверждена возможность предотвращения интенсивного оттеснения ферромагнитных частиц (размольных элементов, перемешивающих тел, заполнителей на твердой основе и др.) из рабочего объема (зазора) за счет принятия комплекса конструктивных решений и модернизации формы поверхностей, ограничивающих рабочий объем (зазор) аппаратов.

Ключевые слова: магнитоожигенный слой, конструктивная модернизация, электромагнитные механоактиваторы и смесители

METHODS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF APPARATUS WITH MAGNETOOZHIZHENNYM LAYER VARIOUS PURPOSES

Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Stoboreva M.N., Dzjuba A.A.

St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, e-mail: mysnegana@mail.ru

The article describes the methods to improve the reliability of the devices with magnetic liquefied layer by creating conditions for a given production targeted reorientation ferroparticles in the central part of the working volume (gaps) devices for various purposes (electromagnetic mehanoaktivators electromagnetic mixers, electromagnetic densitometers, electromagnetic powder clutches, etc.). Based on the analysis of theoretical and experimental studies confirmed the possibility of preventing the intensive marginalization of ferromagnetic particles (grinding elements, mixing bodies, aggregates on a solid basis, and others.) From the stroke volume (the gap) due to the adoption of complex design solutions and the modernization of the form surfaces, limiting the working volume (gap) devices.

Keywords: liquefied layer, structural modernization, electromagnetic mehanoaktivators, electromagnetic mixer

Опыт эксплуатации аппаратов с магнитоожигенным слоем ферротел [1, 2, 3, 4, 5, 16] подтвердил, что дальнейшие работы по повышению их надежности необходимо вести в направлении модернизации конструктивных форм с целью обеспечения условий формирования «слоя скольжения» [6, 7, 8] в средней (центральной) части рабочего объема (зазора) с ферромагнитным заполнителем. Успешное выполнение этого условия влияет как на сохранение стабильности характеристик аппаратов, так и на повышение эффективности их работы [9, 10, 11, 12, 14]. Анализ результатов исследований [6, 8] показал, что наиболее актуальными являются разработки по повышению надежности аппаратов с магнитоожигенным слоем при высоких скоростных режимах их работы (при частоте вращения внутреннего цилиндра устройств $n > 2000$ об/мин).

Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование методов повышения надежности работы аппаратов с магнитоожигенным слоем при различных соотношениях электромагнитных и скоростных режимов их работы.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования являются методы повышения надежности аппаратов с магнитоожигенным слоем. Используются аналитические и экспериментально-статистические методы исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Уходу ферромагнитных элементов из рабочего зазора способствует действие центробежной силы, достигающей значительной величины при высоких значениях скорости вращения внутреннего цилиндра ($n > 2000$ об/мин). С целью ослабления воздействия центробежной силы на ферромагнитные элементы магнитоожигенного слоя предлагается выполнять рабочую поверхность наружного цилиндра аппаратов такой формы, как показано на рисунке.

Действие силы $F = F_n \cdot \sin \alpha$ (здесь F_n – центробежная сила, F_τ – касательная составляющая F_n , α – угол наклона между образующей рабочей поверхности наружного цилиндра и осью устройств) препятствует оттеснению ферромагнитных элементов к периферийной части рабочего объ-

ема аппаратов. Как показали эксперименты, величина угла α измеряется единицами градусов. Значение угла α может быть определено путем проведения процедуры оптимизации [6] при различных значениях n_{max} , диаметра частиц δ , ширины рабочего объема h и коэффициента объемного заполнения ферромагнитной составляющей k .

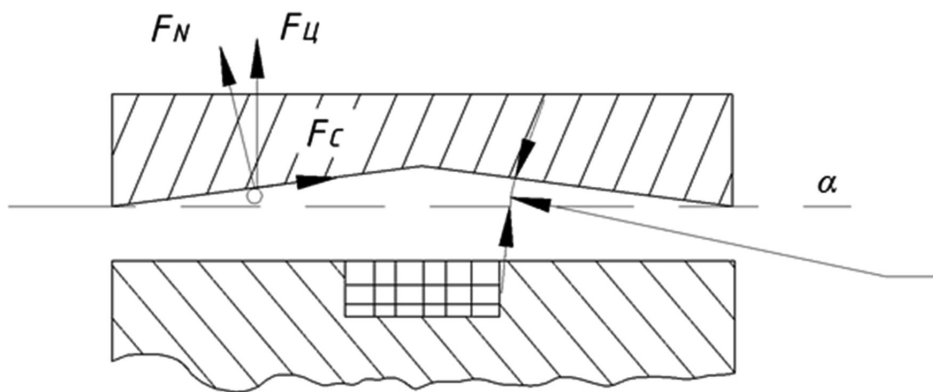
Под действием центробежной силы $F_{ц}$ значительной величины ферромагнитные частицы оттесняются к внутренней поверхности наружного цилиндра. При определенном значении $n = n_{кр}$ для каждого исследуемого аппарата, отличающегося от других диаметром рабочего объема и ферромагнитных частиц, между поверхностями рабочего объема нарушается механическая взаимосвязь. При этом устройства теряют работоспособность. Проведенные исследования показали, что действие силы $F_{ц}$ может быть компенсировано увеличением м.д.с., создаваемой обмоткой управления устройств с магнитоожигенным слоем. Эта мера не только предотвращает интенсивный уход ферромагнитных частиц заполнителя из рабочего зазора, но и позволяет обеспечить надежную работу аппаратов при $n > 2000$ об/мин. Предполагается при этом, что рабочая точка находится на линейной части характеристики $B_{\delta} = \varphi(I_y)$, где B_{δ} – индукция электромагнитного поля в рабочих объемах аппаратов с магнитоожигенным слоем ферротел; I_y – ток управления. Только в этом случае увеличению м.д.с. будет соответствовать увеличение индукции B_{δ} в рабочем объеме, что обеспечит соответствующую компенсацию действия центробежной силы с ростом скорости вращения внутреннего цилиндра.

Выявлено, что в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) [13,14] увели-

чение силы и числа ударных воздействий на перерабатываемый продукт происходит при ускорении смещения поверхностей, ограничивающих рабочий объем. При этом действие центробежной силы необходимо компенсировать увеличением м.д.с. обмотки (или обмоток) управления

$$n_{кр} = 0,16 \sqrt{\frac{KF}{GR_2}} \quad (\text{здесь } K - \text{коэффициент, ха-}$$

рактеризующий величину компенсируемой центробежной силы при помощи увеличения м.д.с. обмоток управления; F – сила сцепления между размоляными феррошарами и поверхностью внутреннего цилиндра; G – масса феррошара). При этом создаются условия для равномерного распределения ферромагнитных измельчающих элементов по радиусу устройства, обеспечивается равномерное магнитное поле и равномерное силовое воздействие на обрабатываемый продукт, что способствует выравниванию гранулометрического состава продуктов помола, сокращает затраты электроэнергии в связи с равноценным по толщине рабочим объемом в магнитном отношении. В этом случае обеспечивается целенаправленная переориентация размоляных ферротел в структурных группах с образованием «слоя скольжения» в центральной части рабочего объема ЭММА. При соблюдении этого условия расчет проводится с использованием апробированной математической модели: силовое взаимодействие F_r в контактной системе из двух рабочих элементов сферической формы радиусом R_0 и магнитной проницаемостью μ в магнитном поле напряженностью H и момент сил M_v взаимодействия поля с системой рабочих тел магнитоожигенного слоя определяются выражениями [6, 8].



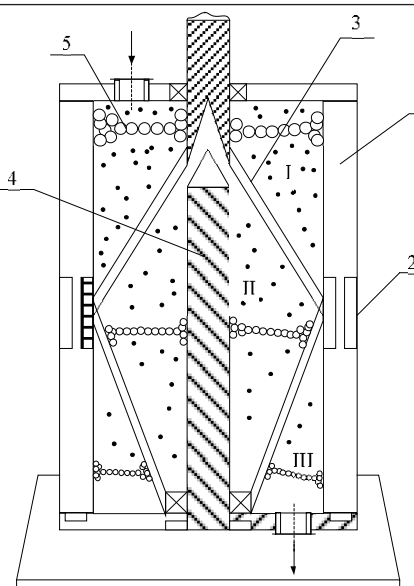
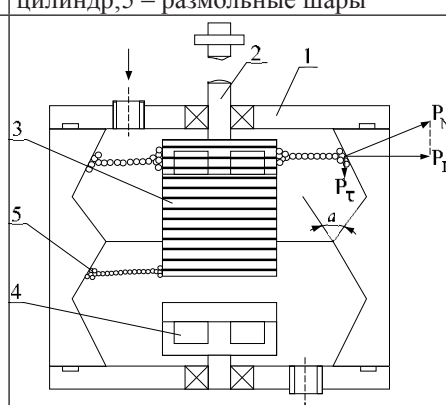
Конструктивная модификация поверхности рабочего объема аппаратов с магнитоожигенным слоем

$$F_r = -\frac{3}{256} H^2 R_0^2 \frac{(\mu - 1)^2}{(\mu + 2)^3} [(13\mu + 11) + 9(3\mu + 5)\cos 2\nu]; \quad (1)$$

$$M_v = -\frac{3}{128} H^2 R_0^3 \frac{(\mu - 1)^2}{(\mu + 2)^3} (17\mu + 31)\sin 2\nu, \quad (2)$$

где ν – угол деформации структурной группы из ферротел.

Электромагнитные механоактиваторы (ЭММА) с модифицированными поверхностями рабочего объема

Наименование охранного документа патентной собственности	Характеристика аппарата	Области применения	Описание устройства
Свидетельство РФ № 770 на полезную модель	ЭММА-1: однороторный, коаксиальный, униполярный, с секционированной ОУ, трехкамерный, с механическим смещением, непрерывный, вертикального исполнения	Средний и тонкий помол, перемешивание и классификация сухих порошкообразных материалов в сельскохозяйственной, пищевой и фармацевтической промышленности	 1 – стержни секционированного корпуса; 2 – секционированная ОУ; 3 – ротор-классификатор; 4 – коаксиальный неподвижный цилиндр; 5 – размольные шары
Патент РФ № 2066958	ЭММА-2: однороторный, коаксиальный, многополярный, двухкамерный, с механической энергией смещения; непрерывный, вертикального исполнения, снабжен системой автоматического управления	Средний и тонкий помол и перемешивание продуктов различной консистенции в сельскохозяйственной, пищевой, фармацевтической и лакокрасочной промышленности	 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – шихтованная лопасть; 4 – тангенциальная ОУ; 5 – ферромагнитные сферические размольные элементы

Проведенные исследования показали, что если действие центробежной силы на размольные элементы не будет скомпенсировано увеличением намагничивающей силы, то это вызовет оттеснение размольных феррошаров к периферийной части рабочего объема (внутренней поверхности наружного корпуса). В результате суммарное силовое воздействие на обрабатываемый продукт снизится, что вызовет уменьшение дисперсности обрабатываемого материала и приведет к нерациональному использованию привнесенной энергии. Указанная конструктивная мера использована при разработке надежно работающих аппаратов, представляющих предмет изобретений (таблица).

Исследования, проведенные на ЭПМ и ЭПЛ [15], показали, что под действием центробежной силы $F_{ц}$ ферромагнитные частицы заполнителя оттесняются от наружной поверхности внутреннего цилиндра и внутренней поверхности наружного цилиндра и далее – во внутренние полости аппаратов. При значении $n = n_{кр}$ ведущая часть теряет связь с ведомой – аппараты перестают выполнять назначения связующего звена между приводным двигателем и исполнительным механизмом и перестают быть работоспособными. Модификация поверхности этих аппаратов путем их выполнения конусообразной формы (рисунок) обеспечивает надежность работы аппаратов при высоких значениях скорости вращения ($n > 2000$ об/мин).

Заключение

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены основные направления конструктивной модификации аппаратов с магнитоожигенным слоем, обеспечивающие повышение надежности их работы за счет формирования «слоя скольжения» феррочастиц заполнителя в центральной части рабочего объема. Предложенные конструктивные меры апробированы на аппаратах различного целевого назначения (ЭММА, ЭМС, ЭПМ и ЭМЛ).

Список литературы

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. 60–61.
2. Беззубцева М.М., Криштопа Н.Ю. Классификация электромагнитных измельчителей (ЭМИПТ). В сборнике: Проблемы аграрной науки на современном этапе. Сборник научных трудов: к 100-летию университета. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 140–153.
3. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования процесса электромагнитной механоактивации пищевого сельскохозяйственного сырья // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–2. – С. 232–234.
4. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Дзюба А.М. Исследование процесса перемешивания сыпучих материалов в электромагнитных мешалках // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11 (часть 3). – С. 116–117.
5. 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.
6. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Прикладная теория электромагнитной механоактивации (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2–1. – С. 101–102.
7. Беззубцева М.М., Криштопа Н.Ю., Михайлов В.Н. Исследование скоростных режимов работы электромагнитного измельчителя постоянного тока. В сборнике: Технологии и средства механизации сельского хозяйства сборник научных трудов. Редакционная коллегия: М.А. Новиков, Л.В. Тишкин, Б.И. Вагин, Е.И. Давидсон, В.В. Калюга. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 17–21.
8. Беззубцева М.М., Волков В.С. Теоретические исследования электромагнитного способа измельчения материалов (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2–1. – С. 68–69.
9. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Энергетическая теория способа формирования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–6. – С. 1157–1161.
10. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения какао-бобов в электромагнитных механоактиваторах // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 171.
11. 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. Редакционная коллегия: 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.
12. Беззубцева М.М., Волков В.С. Классификация электромагнитных механоактиваторов по технологическому назначению // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8–1. – С. 25–27.
13. Беззубцева М.М., Волков В.С. Механоактиваторы агропромышленного комплекса. Анализ, инновации, изобретения (монография) // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5–1. – С. 182.
14. Беззубцева М.М., Волков В.С. Электромагнитные мешалки. Теория и технологические возможности. – Saarbrücken, 2013.
15. Беззубцева М.М., Назаров И.Н. Электромагнитный способ диагностики загрязненности технологических сред. – Санкт-Петербург, 2009.
16. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Модель образования сцепляющего усилия в ЭПМ // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 1987. – № 10. – С. 91.