

*д.т.н. Заблодский Н.Н.,
Грицюк В.Ю., Шека С.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСИЛИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДЕЗИНТЕГРАТОРА

Представлено результати дослідження розподілу зусиль, що діють на ферромагнітні тіла та робочу камеру в ЕМД багатofакторної дії.

***Ключові слова:** електромеханічний дезінтегратор, робочі ферромагнітні тіла, електромагнітні зусилля, деформація.*

Представлены результаты исследования распределения усилий, действующих на ферромагнитные тела и рабочую камеру в ЭМД многофакторного действия.

***Ключевые слова:** электромеханический дезинтегратор, рабочие ферромагнитные тела, электромагнитные усилия, деформация.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одним из способов, позволяющих осуществлять различные технологические процессы тонкого и сверхтонкого измельчения, гомогенного перемешивания жидких и твердых порошковых веществ (приготовления эмульсий, суспензий и т.п.), ускорения некоторых химических реакций, является применение принципиально нового класса электромеханических преобразователей энергии – электромеханических дезинтеграторов (ЭМД) многофакторного действия [1, 2].

ЭМД состоит из двух плоских индукторов с трехфазными обмотками, которые образуют бегущие магнитные поля с противоположным порядком чередования фаз, и рабочей камеры с ферромагнитными рабочими телами (ФРТ), расположенной в межиндукторном зазоре. Встречные бегущие поля образуют в пределах каждого полюсного деления индуктора локальные зоны с интенсивным вихревым движением ФРТ (например, игольчатого типа), посредством которых и происходит обработка исходного вещества. Вихревой слой ФРТ может быть создан как при давлении, так и в вакууме, в жидкой, газообразной или гетерогенной среде [3]. Кроме непосредственного механического воздействия ФРТ и самого электромагнитного поля, на

обрабатываемое вещество воздействует также ряд сопутствующих эффектов: нагрев, механоактивация, электризация, широкий спектр локальных акустических давлений, а при определенных условиях также кавитация и электролиз (для жидких материалов). В результате такой комплексной обработки многие процессы ускоряются в десятки, сотни и тысячи раз, а некоторые процессы могут протекать только в ЭМД.

Анализ исследований и публикаций. Множество факторов, позволяющих воздействовать на обрабатываемое вещество с необходимой интенсивностью и в нужном направлении требует, прежде всего, знания физической сущности происходящих в вихревом слое явлений. Несмотря на то, что аппараты с вихревым слоем уже нашли применение в различных отраслях промышленности, сложные физические и механохимические явления, происходящие в вихревом слое, остаются недостаточно изученными. Кроме того, существующие работы [4, 5, 6] посвящены рассмотрению усилий и моментов, возникающих в устройствах, вихревой слой которых создается вращающимся магнитным полем.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является теоретическое рассмотрение и оценка усилий, возникающих в рабочей зоне ЭМД многофакторного действия.

Изложение материала и его результаты. Сложный характер движения ФРТ, большое количество факторов, существенно влияющих на процесс обработки материала, осложняют теоретическое рассмотрение данного вопроса. Траектория немагнитной частицы, движущейся через вихревой слой, объемна и определяется совокупностью многочисленных факторов. На неравноосные ФРТ в вихревом слое действует ряд сил и моментов [4]:

- силы и моменты, вызванные встречными бегущими полями двух индукторов;
- силы и моменты, обусловленные воздействием магнитных полей других ФРТ;
- силы и моменты, возникающие при соударении ФРТ;
- силы и моменты трения между ФРТ, а также между ФРТ и стенками рабочей камеры;
- силы и моменты сопротивления, вызванные воздействием обрабатываемого вещества;
- силы тяжести ФРТ;
- центробежная сила инерции;
- сила Кориолиса.

Под действием указанных сил и моментов ФРТ в вихревом слое совершают сложное движение – поступательное с частым и резким изменением скорости и направления и вращательное с переменной угловой скоростью [4]. Характер движения ФРТ зависит от многих факторов – скорости вращения и напряженности магнитного поля, создаваемого индуктором, массы, формы, размеров и магнитных свойств ФРТ, вязкости среды.

Появление воздействующего на ФРТ вращающего момента объясняется следующим образом [5]. В неоднородном магнитном поле на ферромагнитное тело небольших размеров действует сила, которую можно определить по формуле

$$\vec{F} = \vec{f} \cdot V_T = \frac{1}{2} V_r \mu_0 (\mu_r - 1) \text{grad} H^2, \quad (1)$$

где \vec{f} – плотность пондеромоторных сил, испытываемых ферромагнетиками в магнитном поле;

V_T – область пространства, занятого ферромагнитным телом;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

μ_r – относительная магнитная проницаемость;

H – модуль напряженности магнитного поля.

Из формулы видно, что ФРТ всегда втягиваются в область наибольшей напряженности магнитного поля. В бегущем магнитном поле ФРТ будут следовать за областью наибольшей напряженности поля. На рисунке 1 штриховой линией показана траектория движения цилиндрического ферромагнитного тела при условии отсутствия в рабочей камере обрабатываемого материала и других ФРТ, определенная путем скоростной видеосъемки за время 0,5 с.

Результаты исследования распределения магнитного поля в воздушном зазоре экспериментального образца ЭМД показывают, что движение ФРТ начинается при величине магнитной индукции 0,06 Тл. При достижении индукции 0,08...0,1 Тл, практически во всем рабочем объеме ЭМД наступает режим интенсивного перемещения ФРТ.

Для определения по формуле (1) силы, действующей на ферромагнитное тело, необходимо рассчитать магнитное поле в рабочей зоне ЭМД. Интересующая величина H определялась путем численного решения полевой задачи с использованием метода конечных элементов. Данный метод позволяет точно описать конфигурацию активной части ЭМД, а также учесть нелинейность свойств материалов.

На рисунке 2 а представлен фрагмент картины распределения векторного магнитного потенциала в активной зоне ЭМД при наличии немагнитной электропроводящей камеры и одного ферромагнитного тела. Распределение усилий (в виде стрелок-векторов), действующих на ФРТ при некоторых мгновенных положениях показано на рисунке 2 б. В соответствии с результатами численных расчетов, усилия, действующие на цилиндрическое ферромагнитное тело длиной 18 мм и диаметром 2 мм, достигают значения 19 Н.

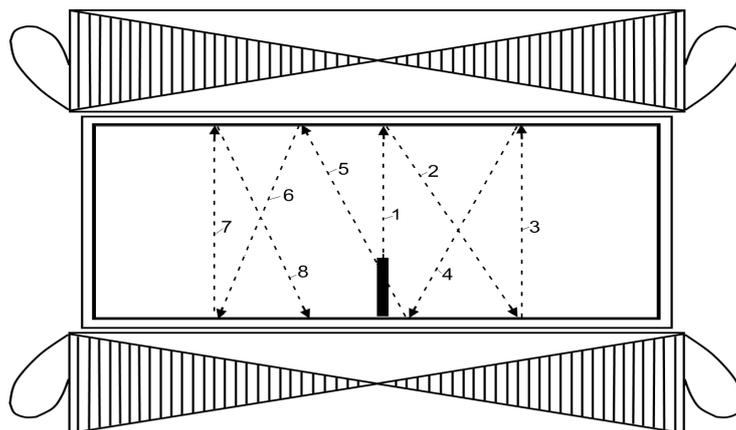


Рисунок 1 – Траектория движения цилиндрического ферромагнитного тела за время 0,5 с

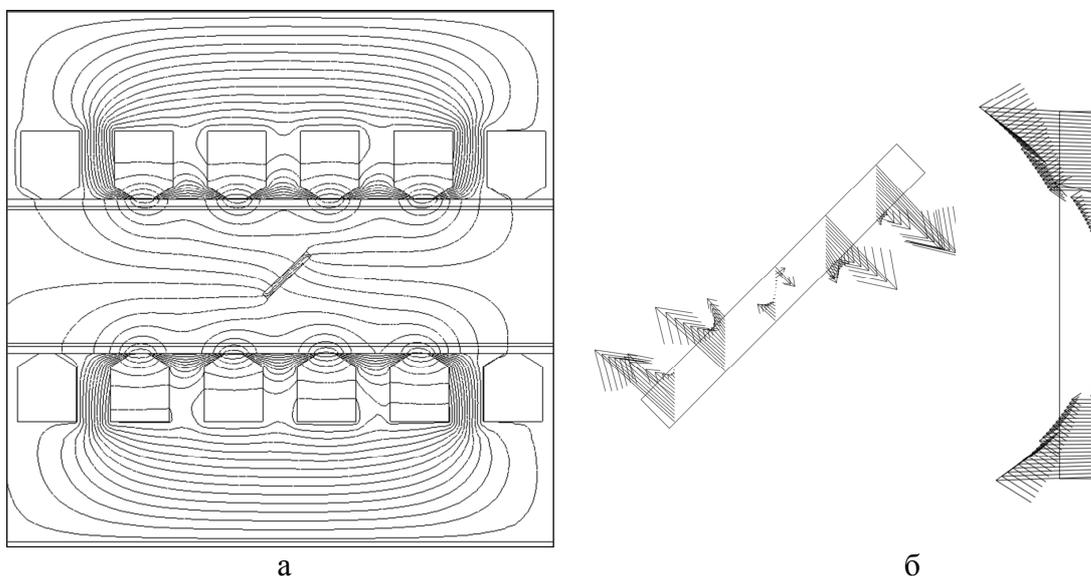


Рисунок 2 – Распределение векторного магнитного потенциала в активной зоне ЭМД (а) и усилий действующих на ФРТ (б)

Важной особенностью работы ЭМД, выявленной в ходе проведения экспериментальных исследований [7] является деформация рабочей электропроводящей камеры. Следствием взаимодействия бегущих магнитных полей индукторов и вихревых токов, протекающих в стенках рабочей камеры (прилегающих к индукторам), является появление характерных прогибов стенок рабочей камеры в пределах каждого полюсного деления (рисунок 3).

На рисунке 4 представлены кривые, показывающие распределение глубины про-

гиба по длине одной из стенок рабочей камеры после 10, 15, и 20 минут работы ЭМД. Из рисунка видно, что после 20 минут работы дезинтегратора глубина прогиба, при толщине стенки камеры 0,8 мм, достигает 10 мм.

Распределение электромагнитных усилий в рабочей электропроводящей камере ЭМД, полученное по результатам конечно-элементных расчетов, представлено на рисунке 5.



Рисунок 3 – Деформация рабочей камеры ЭМД

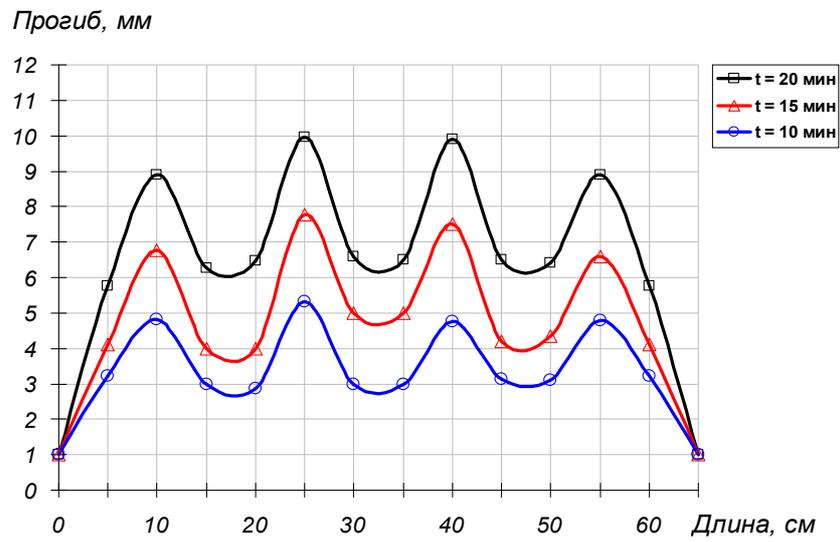


Рисунок 4 – Кривые распределения глубины прогиба по длине стенки рабочей камеры

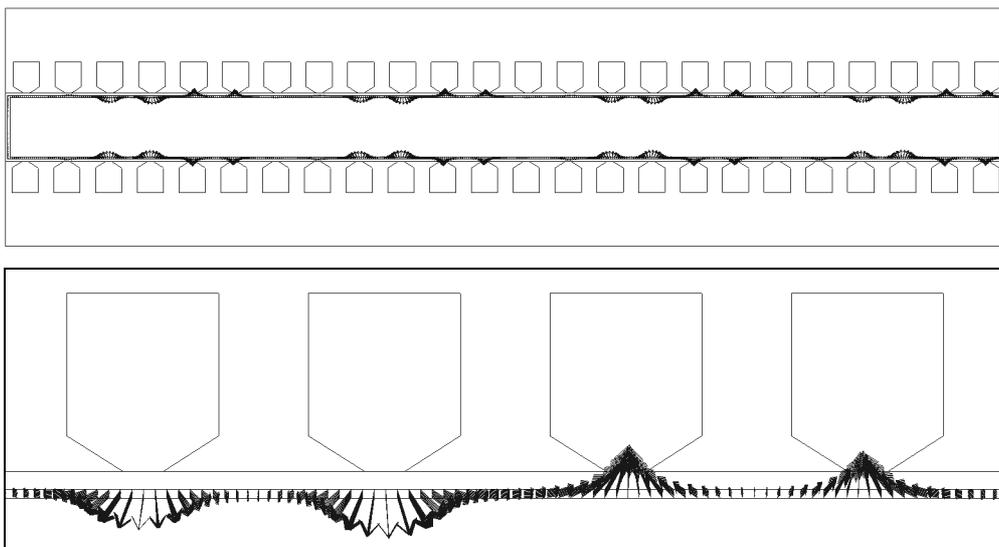


Рисунок 5 – Распределение электромагнитных усилий в рабочей электропроводящей камере ЭМД

Выводы. Рассмотрены усилия, возникающие в рабочей зоне ЭМД многофакторного действия. Представлена траектория движения цилиндрического ферромагнитного тела в рабочей камере ЭМД. В бегущем магнитном поле ФРТ следуют за областью наибольшей напряженности поля. Движение ФРТ начинается при вели-

чине магнитной индукции 0,06 Тл. При достижении индукции 0,08...0,1 Тл, практически во всем рабочем объеме ЭМД наступает режим интенсивного перемещения ФРТ. Получены экспериментальные зависимости глубины прогиба вдоль длины стенки рабочей камеры ЭМД.

Библиографический список

1. Шинкаренко В.Ф. Еволюційний синтез нових видів електромеханічних перетворювачів енергії технологічного призначення з використанням моделей макроеволюції / В.Ф. Шинкаренко, С.А. Безсонов // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ», 2001. – № 16. – С. 171–173.
2. Пат. 43635 Україна, МПК В01F 13/00. Електромеханічний дезінтегратор / Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Лисак В.В., Вахновецька М.О.; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «КПІ». – № u200902781 ; заявл. 25.03.2009 ; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
3. Логвиненко Д.Д. Реактор для проведения процессов в кипящем слое. Авторское свидетельство № 168264. – Бюллетень изобретений, 1965. – № 4.
4. Логвиненко Д.Д. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем / Д.Д. Логвиненко, О.П. Шеляков. – Техніка, 1976. – 144 с.
5. Бахвалов А.Ю. Электромеханические устройства с дискретной вторичной частью: алгоритмы анализа и синтеза и усовершенствованные конструкции : диссертация канд. техн. наук : 05.09.01 / А.Ю. Бахвалов. – Новочеркасск, 2007. – 136 с.
6. Вершинин И.Н. Аппараты с вращающимся электромагнитным полем / И.Н. Вершинин, Н.П. Вершинин. – ООО «Передовые технологии XXI века», Сальск-Москва, 2007. – 368 с.
7. Филатов М.А. Оценка возможности использования электромеханического дезинтегратора в технологии приготовления водоугольного топлива / М.А. Филатов, В.Ю. Грицюк, В.В. Лысак // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ. – 2012. – Вып. 37. – С. 325–329.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Луциком В.Д.