

продукцию на предприятиях АПК. Проведена значительная работа, предлагающая новый более эффективный подход к использованию энергии постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля для формирования управляемых силовых и энергетических условий диспергирования в магнитоожигенном слое размоленных тел. Теоретически и экспериментально подтверждено, что высокая управляемость физико-механическими процессами в рабочем объеме механоактиваторов позволяет повысить степень селективности измельчения, что предопределяет как снижение энергоемкости продукции, так и значительное улучшение качества готовых изделий. Монография состоит из 6 логично взаимосвязанных глав, предисловия, заключения, приложений и обширного списка литературы, включающего 300 наименований. Предшествующие научные изыскания позволили изучить закономерности селективного разрушения как с точки зрения физико-химической механики, так и закономерностей диспергирования материалов в магнитоожигенном слое ферротел аппаратов нового типа – электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) [4, 5]. Целесообразно отметить, что исследования проведены в рамках зарегистрированной в СПб ведущей научной и научно-педагогической школы проф. Беззубцевой М.М. «Эффективное использование энергии, интенсификация электротехнологических процессов». В первой главе монографии подробно излагаются особенности концепции процесса трещинообразования в перерабатываемом продукте под действием внешней нагрузки с энергетической точки зрения. Особое внимание уделено анализу энергетических затрат. Показано, что ни один из традиционных активаторов, используемых в настоящее время в производстве, не обеспечивает заданную технологией оптимальную селективность с получением продукции с заданным распределением гранулометрического состава. Мельницы не обеспечивают соблюдения основного принципа энергоэффективности – «не измельчать ничего лишнего».

Научный и практический интерес в контексте исследования представляют вторая и третья главы, посвященные закономерностям селективного измельчения и исследованиям управляемых факторов селективного (избирательного) измельчения материалов. Представленный анализ аргументировано указывает на неудовлетворительную степень селективности в традиционных измельчителях. В связи с этим в монографии описаны перспективные методы механоактивации с использованием электромагнитных полей и представлены конструктивные схемы ЭММА цилиндрического и дискового исполнения, представляющие предмет изобретения. Отдельная часть монографии (глава 4) посвящена методологии проектирования

ЭММА, обеспечивающих энергоэффективное диспергирование материалов с получением продукции в заданном диапазоне дисперсности частиц твердой фазы. Уровень освещения методов переработки в ЭММА материалов различного целевого назначения позволяет практически их реализовать на действующих предприятиях АПК [6,7]. В главе 5 и 6 на основании результатов экспериментальных исследований также предложены решения по производству социально значимой продукции с высокими качественными показателями.

#### Список литературы

1. Беззубцева М.М. Научное обоснование внедрения импортозамещающего способа электромагнитной механоактивации в аппаратно-технологические системы шоколадного производства // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 5–3. – С. 351–352.
2. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. Электромагнитный способ снижения энергоемкости продукции на стадии измельчения // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8–3. – С. 399–400.
3. Беззубцева М.М. К вопросу интенсификации процесса измельчения продуктов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 5–3. – С. 356–357.
4. Беззубцева М.М. Исследование процесса диспергирования продуктов шоколадного производства с использованием электромагнитного способа механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5–2. – С. 78–79.
5. Беззубцева М.М., Ковалев М.Э. Электротехнологии переработки и хранения сельскохозяйственной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 6. – С. 50–51.
6. Беззубцева М.М. Энергосберегающие технологии диспергирования сырья растительного происхождения. В сборнике: Инновации – основа развития агропромышленного комплекса материалы для обсуждения Международного агропромышленного конгресса. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Комитет по аграрным вопросам ГосДумы РФ, Правительство Санкт-Петербурга, Правительство Ленинградской области, С.-Петербургский государственный аграрный университет, ОАО «Ленэкспо». – 2010. – С. 65–66.
7. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. Энергетические параметры, характеризующие работу электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8–1. – С. 134–135.

#### К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНОАКТИВАТОРАХ

Беззубцева М.М.

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

Перспективным способом диспергирования материалов является электромагнитная механоактивация в магнитоожигенном слое ферроэлементов цилиндрической формы [1, 2]. Под действием электромагнитных сил ферроцилиндры взаимодействуют между собой с образованием жесткой механической связи между поверхностями электромагнитных механоактиваторов (ЭММА), ограничивающих рабочий объем. При этом, как показали результаты предыдущих ис-

следований [3, 4, 5], при контактном взаимодействии ферростержней (размольно-перемешивающих органов аппарата), потенциальная энергия взаимодействия первого ферроэлемента с полем в рабочем объеме совпадает с потенциальной энергией взаимодействия с полем второго ферроэлемента. Эта энергия (при точности

исчисления до  $\frac{1}{c_{1,2}^2}$ ) может быть вычислена по формуле

$$W_{\kappa} = W_{\kappa 1} = W_{\kappa 2} \approx -\frac{\chi\pi}{c_{1,2}^2} (5x \cos 2\alpha_{1,2} - 4).$$

При включении приводного электродвигателя [6, 7] возникает момент сил

$$M_{\kappa} = \frac{\partial W_{\kappa}}{\partial \alpha_{1,2}} = \frac{5\pi x^2}{c_{1,2}^2} \sin 2\alpha_{1,2}.$$

Анализ уравнения позволяет выявить условия разрушения «структурных групп» из ферроцилиндров с образованием «слоя скольжения». При значениях угла  $\alpha_{1,2}$  от 0 до  $\frac{\pi}{2}$  возникает момент, который стремится повернуть ферроцилиндры так, чтобы линия, соединяющая центры их сечений, расположилась параллельно силовым линиям невозмущенного поля в рабочем объеме ЭММА. Сила, действующая на первый ферроэлемент, вычисляется по формуле

$$F = \frac{\partial W_{\kappa}}{\partial c_{1,2}} \approx \frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x \cos 2\alpha_{1,2} - 4).$$

Эта сила приложена к центру сечения и направлена вдоль линии, соединяющей эти центры. Когда прямая, соединяющая центры сечений размольно-перемешивающих ферроцилиндров, перпендикулярна силовым линиям невозмущенного поля (т.е. при  $\alpha_{1,2} = 0$ ), формула имеет вид

$$F = \frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x - 4).$$

Таким образом, при достаточно большой магнитной проницаемости ферроцилиндров ( $\mu \gg 1$ ) сила  $F > 0$ . В этом случае ферроцилиндры отталкиваются. При  $\alpha_{1,2} = \frac{\pi}{2}$  имеем

$$F = -\frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x + 4).$$

В этом случае сила взаимодействия  $F$  отрицательна, т.е. ферроцилиндры притягиваются друг к другу. Доказано, что в основании структурных групп действует сила притяжения ферроэлементов к стенке. Эту силу можно определить из выражения

$$F = -\frac{8\chi\pi}{c^3} (5x + 4)$$

здесь  $c$  – расстояние от центра сечения ферроцилиндра до стенки ЭММА.

Доказанная возможность создания в рабочих объемах ЭММА заданных силовых условий [8–10], позволяет спроектировать аппараты, обеспечивающие высокую степень селективности измельчения перерабатываемых материалов [8, 9].

#### Список литературы

1. 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.
2. Беззубцева М.М. Анализ классификации мельниц по способу формирования диспергирующего усилия // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 12–2. – С. 185–189.
3. Беззубцева М.М., Волков В.С., Зубков В.В. Исследование аппаратов с магнитооживленным слоем // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 6–2. – С. 258–262.
4. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Определение сил и моментов, действующих на систему ферромагнитных размольных элементов цилиндрической формы в магнитооживленном слое рабочего объема электромагнитных механоактиваторов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11–3. – С. 504–508.
5. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Волков В.С. Теоретические исследования деформированного магнитного поля в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов с магнитооживленным слоем размольных элементов цилиндрической формы // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–4. – С. 689–693.
6. Беззубцева М.М. Энергокинетические закономерности электромагнитной механоактивации (монография) // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 11–2. – С. 242–243.
7. Беззубцева М.М. Условия энергоэффективности работы электромагнитных механоактиваторов // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 9–1. – С. 84–85.
8. Беззубцева М.М. К вопросу проектирования типовых рядов электромагнитных механоактиваторов цилиндрического исполнения (обзорная информация) // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2016. – № 6. – С. 15–21.
9. Беззубцева М.М. Научное обоснование внедрения импортзамещающего способа электромагнитной механоактивации в аппаратно-технологические системы шоколадного производства // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 5–3. – С. 351–352.

#### ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

<sup>1,2</sup>Иванов Д.А.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, e-mail: tm\_06@mail.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург

Сплавы на основе титана, благодаря высокой удельной прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости представляют собой важнейший конструкционный материал. Так, в области авиационного титана все больше вытесняет алюминий и сталь, в том числе для крепежа. Изделия из титановых сплавов зачастую в процессе эксплуатации подвергаются ударным нагрузкам и возможность повышения устойчивости к подобным нагрузкам является актуальной задачей.

Образцы из стандартно обработанного титанового сплава ВТ14 испытывались на динамический изгиб после газоимпульсной обработки [1–8]