

УДК 663.915

## ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В МАГНИТООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ФЕРРОТЕЛ. ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В.**

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

В статье представлена обзорная информация результатов исследований электромагнитного способа механоактивации. Способ основан на использовании энергии постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля, воздействующего на ферромагнитные размольные элементы, размещенные в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) в смеси с обрабатываемым продуктом. Представлен краткий обзор физико-математических моделей силовых и энергетических характеристик ЭММА, основанных на развитии дипольной модели взаимодействия ферротел сферической формы в магнитоожигенном слое. Приведены технологические преимущества способа, обеспечивающие повышение энергоэффективности процессов механоактивации продукции различного целевого назначения при улучшении ее качества за счет выравнивания гранулометрического состава и возможности управления процессом при небольших затратах мощности.

**Ключевые слова:** магнитоожигенный слой, диспергирующее усилие, энергетика процесса, магнитное поле, размольные элементы.

## THE INNOVATIVE METHOD OF ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATION IN THE MAGNETIC LIQUEFIED LAYER OF FERROELEMENTS. A BRIEF REVIEW

**Bezzubceva M.M., Volrov V.C., Kotov A.V.**

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

The paper presents the research results on the electromagnetic method of mechanical activation. The method is based on the use of the energy of the electromagnetic field (constant in sign and controlled in magnitude) affecting ferromagnetic grinding elements placed in the working volume of the electromagnetic mechanoactivators (EMMA) and mixed with the treated product. The paper presents a brief review on physico-mathematical models for EMMA power and energy characteristics based on the development of the dipole model of interaction between spherical ferroelements in the magnetic liquefied layer. The paper presents the technological advantages of the method increasing energy efficiency of mechanical activation processes for different target products while improving the quality by means of granulometric composition aligning as well as the ways to manage the process at low power expenditure.

**Keywords:** magnetic liquefied layer, dispersing force, energy of process, magnetic field, grinding elements.

### **Физико-механические процессы механоактивации в магнитоожигенном слое ферротел**

Электромагнитная механоактивация основана на нетрадиционном способе передачи механической энергии слою размольных элементов с использованием квазистационарного магнитного поля постоянного тока.

В основе механизма создания диспергирующего усилия лежит действие магнитных сил, притягивающих размольные элементы к поверхностям рабочих органов устройства и друг к другу с организацией их в различные структурные построения (рисунок 1,а). Кинетическая энергия движения сообщается мелющим телам в процессе непрерывного объемного передеформирования (рисунок 1,б) и разрушения (рисунок 1,в) их структурных построений при относи-

тельном смещении поверхностей рабочего объема устройства.

Целенаправленная периориентация размольных элементов с разностью скоростей в структурных группах сопровождается созданием многоточечных контактных взаимодействий между ними через прослойку обрабатываемого продукта. При силовом взаимодействии мелющие тела преобразуют кинетическую энергию своего движения в энергию разрушения материала и измельчают его статическим сжатием и ударно-истирающими нагрузками. Способ обеспечивает энергонапряженный характер диспергирующих сил, легко поддается автоматизации, требует малых затрат мощности, что соответствует требованиям организации процесса измельчения продуктов различного целевого назначения, в том числе и пищевого сельскохозяйственного сырья.

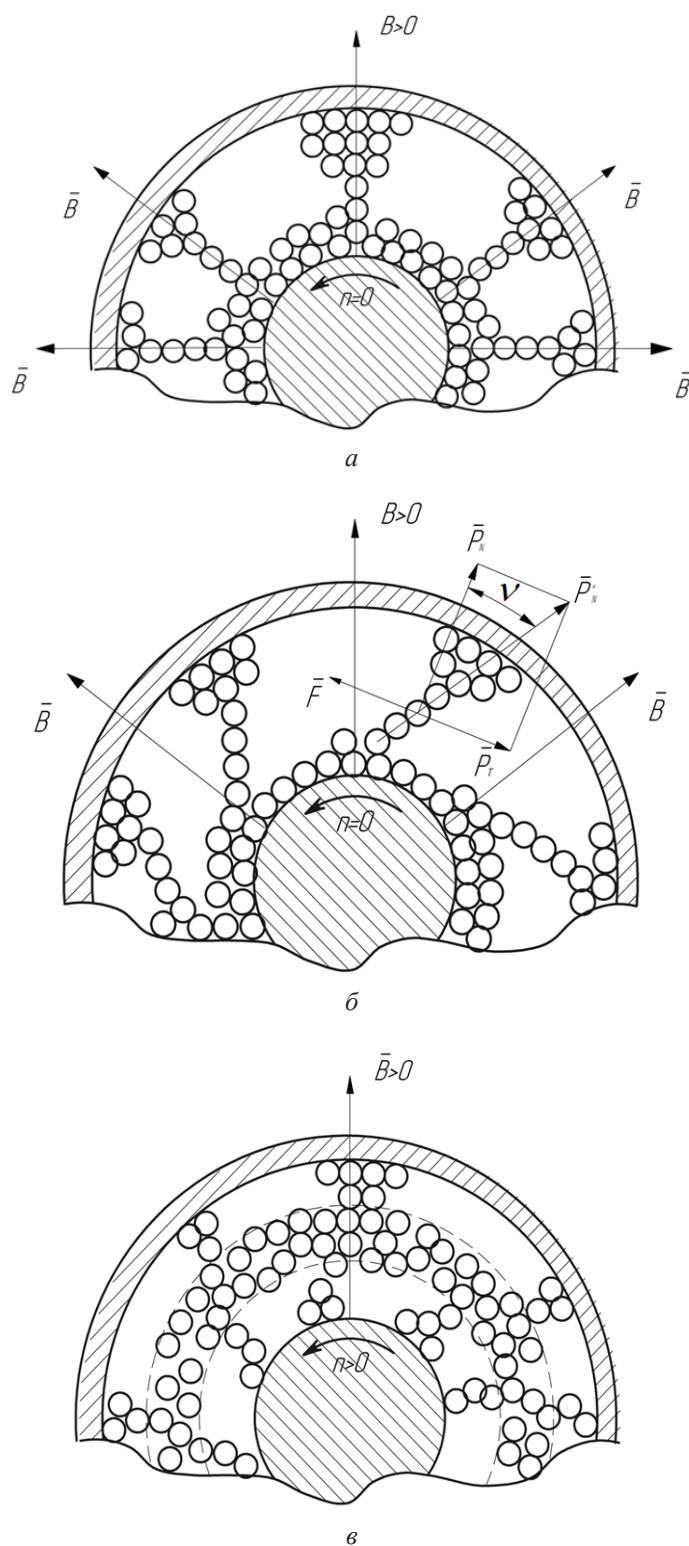


Рис. 1. Организация «слоя скольжения» в ЭММА:  
 а – образование структурных построений из ферромагнитных элементов; б – силовое взаимодействие между ферромагнитными элементами; в – образование слоя скольжения.

$B$  – индукция магнитного поля;  $n$  – частота вращения подвижного цилиндра,  
 $F$  – силы взаимодействия между ферромагнитными элементами;  
 $P_t$  – тангенциальное усилие сдвига;  $v$  – угол деформации структурных построений из ферроэлементов.

Обзорная информация по результатам теоретических и экспериментальных исследований электромагнитного способа механоактивации

Результаты теоретических и экспериментальных исследований подробно описаны в научных статьях и монографиях авторов. Для лучшего понимания изложенного далее материала результаты исследований представлены в форме выводов.

Разработано новое направление в области техники измельчения [1, 2, 3, 4], которое базируется на следующих основных выводах по результатам теоретических и экспериментальных исследований:

Разработан принципиально новый электромагнитный способ механоактивации [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Механизм формирования способа выявлен в результате исследований физико-механических процессов, происходящих под действием сил и моментов постоянного электромагнитного поля в слое магнитоактивных размольных элементов при относительном смещении поверхностей, ограничивающих объем обработки продукта. Установлено, что электромагнитный способ формирует энергонапряженный ударно-стирающий характер диспергирующих сил, легко подлежит автоматизации, требует малых затрат мощности, что полностью соответствует современным требованиям организации процесса измельчения материалов различного целевого назначения, в том числе и пищевого сырья сельскохозяйственного производства [1, 2, 4, 5, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Создан новый тип технологического оборудования – электромагнитные механоактиваторы (ЭММА). Принцип действия и конструкции ЭММА защищены 32 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

Сформулирована теория электромагнитного способа измельчения, основанная на развитии гипотезы Максвелла о дипольном взаимодействии ферромагнитных сферических тел в магнитном поле. Получены математические модели силовых взаимодействий между деформированным магнитным полем в объемах обработки продукта, размольными элементами и частицами измельчаемого материала. При моделировании учтена конфигурация мелющих тел и конструктивное оформление электромаг-

нитного способа измельчения. Разработаны физико-математические модели, описывающие энергетику процессов формирования диспергирующего усилия в слое ферромагнитных размольных элементов под действием постоянного электромагнитного поля, а также процессов измельчения продуктов ударно-стирающими нагрузками и статическим сжатием. Математические модели позволяют установить рациональные силовые и энергетические условия для измельчения материалов, оценить энергетические потоки, необходимые для создания диспергирующего усилия, определить эффективность управления проектируемых устройств. Адекватность научных положений и математических моделей реальным процессам подтверждена результатами испытаний электромагнитного способа измельчения на экспериментальных стендах, моделях, макетах, опытных и промышленных образцах ЭММА.

В результате исследований движения мелющих тел в постоянном электромагнитном поле при относительном смещении поверхностей рабочего объема, получена математическая модель, описывающая динамику рабочего процесса формирования диспергирующего усилия. На основании анализа решений дифференциальных уравнений Лагранжа II рода, составленных с учетом физических аспектов создания силовых контактов в слое ферротел, определены принципы конструктивной реализации электромагнитного способа измельчения. Теоретически обоснованы и количественно установлены оптимальные соотношения между электромагнитными и скоростными режимами работы ЭММА, при которых обеспечивается максимизация механических воздействий при минимальных затратах энергии на их формирование [51, 52, 53, 54, 55, 56].

На основании решений контактных задач теории упругости при силовом взаимодействии рабочих органов определены критерии развития, и прогнозирования выходных параметров процесса намолва выявлены и подтверждены экспериментом условия разрушения материалов электромагнитным способом без сопутствующего процессам измельчения изнашивания поверхностного слоя размольных элементов ЭММА [57, 58, 59].

Разработан и апробирован комплексный метод расчета силовых энергетических и

конструктивных параметров ЭММА. Метод основан на теории и математических моделях электромагнитного способа измельчения и содержит инженерный электротехнический и тепловой расчеты аппаратов. Расчет электромагнитной системы включает: описание строения и определение параметров электромагнитного поля в объемах обработки продукта; расчет магнитопровода и обмоток управления [60, 61]; анализ магнитного состояния системы и корректировку геометрических и конструктивных параметров устройства; определение диапазона регулирования силы тока, при котором обеспечивается эффективное управление физико-механическими процессами организации диспергирующего усилия и создаются заданные технологией обработки продукта силовые условия [11, 51, 54, 56, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68]. Инженерный метод расчета составлен на основании исследований тепловых процессов в слое ферротел с учетом механизма формирования способа и позволяет устанавливать температурный режим обработки продукта [67, 69, 70, 71, 72, 73, 74]. Для механоактиваторов большой мощности предложены варианты систем воздушного охлаждения с методологией их расчета и внедрения в конструктивные формы магнитопровода. Реализация методик при проектировании аппаратов типа ЭММА осуществлена на базе ПК [61, 75].

Установлена возможность использования ЭММА для интенсификации процесса измельчения какао продуктов, сахарного песка и их смесей в технологических линиях производства шоколадных изделий [1, 2, 3, 5, 13, 14, 15]. Разработана технология приготовления шоколада с использованием электромагнитного способа измельчения сырьевых материалов и полуфабрикатов. На основании метода факторного планирования эксперимента определены оптимальные режимы работы ЭММА, при которых достигается максимизация степени измельчения рецептурной смеси сахара и какао (97,2%) при высоких показателях однородности гранулометрического состава продукта ( $b = 1,55$ ).

Выявлено, что внедрение в линии производства аппаратов типа ЭММА не нарушает технологических условий переработки какао бобов в готовую продукцию и позволяет:

– сократить технологические потери сельскохозяйственного сырья (сахара и ка-

као) с 1,8 до 1,2% и интенсифицировать классическую схему производства шоколадных масс путем совмещения стадий диспергирования;

– улучшить качество готовой продукции и сократить расход дорогостоящего импортного сырья – какао масла на 2,5% за счет повышения степени измельчения сырьевых материалов и полуфабрикатов до 97,2% и снижения массовой доли частиц размером менее 10 мкм в 1,8 раза;

– автоматизировать процесс измельчения с минимальными затратами мощности на управление и сократить энергоемкость процесса в 1,7 раза;

– заменить комплекс импортного измельчающего оборудования одним аппаратом отечественного производства.

В результате исследований кинетических закономерностей изменения гранулометрического состава продуктов помола в аппаратах типа ЭММА получено уравнение кинетики, удовлетворяющее граничным условиям процесса измельчения. Уравнение кинетики позволяет определять относительные затраты энергии на обработку продукта до стандартизованной степени измельчения и моделировать промышленное измельчение в лабораторных условиях [13, 14, 76].

### Список литературы

1. Беззубцева М.М. Диспергирование сахарного песка в аппарате с постоянным магнитным полем. – М., 1990. – С. 79. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 19.12.90, № 2348, № 4.
2. Беззубцева М.М. К вопросу измельчения продуктов различного целевого назначения // Интенсификация процессов пищевых производств. Управление, машины и аппараты: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1987. – С. 59-64.
3. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители для пищевого сельскохозяйственного сырья. Теория и технологические возможности: дис. ... д-ра тех. наук. – СПб., 1997. – 495 с.
4. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашенков И.С. Интенсификация технологических процессов переработки сельскохозяйственной продукции с использованием электромагнитных активаторов постоянного тока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – №9. – С. 190-192.
5. Беззубцева М.М. Способ измельчения шоколадных масс // Известия Вузов. Серия Пищевая технология. – 1993. – №5-6. – С. 32-34.
6. Беззубцева М.М. Физическая модель электромагнитного способа организации измельчающего усилия. – М., 1994. – С. 42. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 28.04.94, № 2552 – пш, № 6.
7. Беззубцева М.М. Энергоэффективный способ электромагнитной механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №5. – С. 92-93.
8. Беззубцева М.М., Волков В.С. Прикладная теория электромагнитной механоактивации // Известия международной академии аграрного образования. – 2013. – Т.3, №16. – С. 93-96.

9. Беззубцева М.М., Волков В.С. Теоретические исследования электромагнитного способа механоактивации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – №5. – С. 72-74.
10. Беззубцева М.М., Волков В.С. Энергоэффективный способ измельчения материала с использованием методов криотехнологий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – №7. – С. 105-106.
11. Беззубцева М.М., Пасынков В.Е., Родиоков Ф.Ф. Теоретическое исследование электромагнитного способа измельчения материалов. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 49 с.
12. Лепилин В.Н., Беззубцева М.М. Диспергирование продукта в аппаратах с постоянным магнитным полем // Процессы и аппараты пищевых производств, их интенсификация и управление: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1988. – С. 91-95.
13. Беззубцева М.М. Изменение гранулометрического состава твердой фазы полуфабрикатов шоколадного производства при их обработке в ЭМИПТ. – М., 1993. – С. 88. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 27.01.93, № 2520, № 2-3.
14. Беззубцева М.М. Исследование гранулометрического состава твердой фазы шоколадных масс, обработанных в аппаратах с постоянным магнитным полем // Машины, агрегаты, процессы и аппараты пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1990. – С. 105-108.
15. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения шоколадных масс на ЭМИПТ. – М., 1989. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 11.08.89, № 2088, № 12.
16. Беззубцева М.М., Прибытков П.С. Интенсификация процесса измельчения цеолита для нужд кормопроизводства с использованием электромагнитных активаторов постоянного тока // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – №9. – С. 192-194.
17. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Интенсификация процесса измельчения полуфабрикатов шоколадного производства в аппаратах с постоянным магнитным полем. – СПб.: СПбТИХП, 1993. – 58 с.
18. Волков В.С. Разработка и исследование измельчающего оборудования, соответствующего современным требованиям // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 17. – С. 223-227.
19. А.с. 1546050 (СССР). Установка для приготовления шоколадных масс / Беззубцева М.М., Пуговкин П.Р., Пуговкин А.П. – Опул. 1990, Бюл. № 8.
20. А.с. 1729383 (СССР). Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / В.Н. Лепилин, М.М. Беззубцева, П.Р. Пуговкин. – Опул. в БИ, 1992, Бюл. № 16.
21. А.с. 1785635 (СССР). Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. – Опул. 1992, Бюл. № 3.
22. Беззубцева М.М., Соколов А.В. Устройство для оценки степени загрязнения жидкостей примесями // Свидетельство на полезную модель. – 1999. – № 11343.
23. Беззубцева М.М. Электромагнитный измельчитель // Патент России. № 2045195. 1995. Бюл. № 24.
24. Беззубцева М.М. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2007095. 1994. Бюл. № 3.
25. Беззубцева М.М., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е. Устройство для производства шоколадных масс // Патент России. № 2033729. 1995. Бюл. № 24.
26. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для измельчения шоколадных масс // Патент России. № 2066958. 1996. Бюл. № 20.
27. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2038023. 1995. Бюл. № 24.
28. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2038024. 1995. Бюл. № 24.
29. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н., Азаров Ю.Н. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Патент России. № 2007094. 1994. Бюл. № 3.
30. Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Симонов С.И. Установка для производства шоколадных масс // Патент России. № 2031593. 1995. Бюл. № 24.
31. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Установка для производства шоколадных масс // Патент России. № 2031592. 1995. Бюл. № 9.
32. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Электромагнитный измельчитель // Свидетельство на полезную модель. № 771. 1995. Бюл. № 9.
33. Беззубцева М.М., Симонов С.И. Электромеханический активатор для обработки продуктов шоколадного производства // Свидетельство на полезную модель. № 769. 1995. Бюл. № 9.
34. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания пищевых продуктов // Патент России. № 2045194. 1995. Бюл. № 24.
35. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Устройство для перемешивания и измельчения какао-продуктов // Свидетельство на полезную модель. № 653. 1995. Бюл. № 8.
36. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки продуктов шоколадного производства // Патент России. № 2040185. 1995. Бюл. № 24.
37. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс // Свидетельство на полезную модель. № 772. 1995. Бюл. № 9.
38. Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных продуктов // Свидетельство на полезную модель. № 770. 1995. Бюл. № 9.
39. Волков В.С. Электромагнитный измельчитель // Патент России. № 84263. 2009.
40. Платашенков И.С. Устройство для измельчения и перемешивания продуктов // Патент России. № 78692. 2008.
41. Положительное решение на выдачу патента России от 05.04.93. по заявке 93017860 Электромагнитный измельчитель / Беззубцева М.М.
42. Положительное решение на выдачу патента России от 09.11.93. по заявке 93050194 Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания кондитерских масс / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е.
43. Положительное решение на выдачу патента России от 14.12.92. по заявке 92011900 Электромеханическое устройство для измельчения и перемешивания пищевых продуктов / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Азаров Н.Н., Беззубцев А.Е.
44. Положительное решение на выдачу патента России от 16.11.92. по заявке 92007862 Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е.
45. Положительное решение на выдачу патента России от 22.03.94. по заявке 94009806 Электромагнитное устройство для измельчения полуфабрикатов шоколадного производства / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е., Пасников В.Е.
46. Положительное решение на выдачу патента России от 26.04.93. по заявке 93021682 Электромеханическое устройство для обработки какао-продуктов / Беззубцева М.М., Симонов С.И., Беззубцев А.Е.

47. Положительное решение на выдачу патента России от 27.04.93. по заявке 93025336 Электромагнитное устройство для измельчения и перемешивания продуктов шоколадного производства / Беззубцева М.М.
48. Положительное решение на выдачу патента России от 28.12.92. по заявке 92016057 Устройство для обработки шоколадных масс / Беззубцева М.М., Беззубцев А.Е., Азаров Н.Н.
49. Прибытков П.С. Устройство для измельчения материалов // Патент России. № 86493. 2009.
50. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Электромеханическое устройство для обработки шоколадных масс / Патент России. № 1457881. 1989. Бюл. № 45.
51. Беззубцева М.М. Расчет критической скорости смещения рабочих поверхностей ЭМИПТ. – М., 1993. – С. 78. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 27.01.93, № 2521, № 2-3.
52. Беззубцева М.М. Энергетика процесса взаимодействия рабочих органов в объемах обработки ЭМИПТ. – М., 1994. – С. 35. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 25.02.94, № 2548-пщ, № 4.
53. Беззубцева М.М., Волков В.С. К вопросу расчета энергетика рабочего процесса в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 129-130.
54. Беззубцева М.М., Волков В.С. Обеспечение условий управления процессом измельчения продуктов в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 93-94.
55. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашников И.С. Расчет энергии при измельчении продукта электромагнитным способом (линейная теория) // Труды международной научно – практической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2008. – Т.3. – С. 26-30.
56. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Исследование строения магнитного поля в ЭМИПТ. – М., 1992. – С. 62. – Деп. в АгроНИИТЭИПП 25.05.92, № 2491, № 8.
57. Беззубцева М.М. Исследование процесса намола при измельчении продуктов электромагнитным способом // Тез. докл. международной науч.-тех. конф.: Холод и пищевые производства. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1996. – С. 353.
58. Беззубцева М.М., Волков В.С. Критерии износа рабочих органов электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 7. – С. 119-120.
59. Беззубцева М.М., Зубков В.С. Прогнозирование эффекта намола измельчающего оборудования // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – №6. – С. 145-146.
60. Беззубцева М.М. Методика расчета магнитопровода измельчителя с постоянным магнитным полем // Процессы и аппараты пищевых производств, их интенсификация и управление: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1988. – С. 95-98.
61. Беззубцева М.М., Волков В.С., Прибытков П.С. Расчет электромагнитного механоактиватора с применением программного комплекса ANSYS // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – №15. – С. 150-154.
62. Беззубцева М.М. Метод расчета стационарного магнитного поля ЭМИПТ // Теоретические, экспериментальные исследования процессов, машин, агрегатов, автоматизации, управления и экономики пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1994. – С. 10-17.
63. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование режимов работы электромагнитных механоактиваторов // Успехи современного естествознания. – 2012. – №8. – С. 109-110.
64. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование строения магнитного поля электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 12. – С. 90-91.
65. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование физико-механических процессов в дисковом электромагнитном механоактиваторе (ЭДМА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – Т. 2012, № 12-1. – С. 116.
66. Беззубцева М.М., Волков В.С., Зубков В.В. Исследование аппаратов с магнитоожженным слоем // Фундаментальные исследования. – 2013. – №6-2. – С. 258-262.
67. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Методика расчета ЭМИПТ с системой принудительного охлаждения // Интенсификация процессов пищевых производств, оборудование и его совершенствование: межвуз. сб. науч.тр. – Л.: ЛТИХП, 1992. – С. 62-66.
68. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Теоретическое исследование физико-механических процессов в рабочем объеме ЭМИПТ // Тез. докл. Всесоюз. науч.-тех. конф.: Холод народному хозяйству. – Л.: ЛТИХП, 1991. – С. 353.
69. Беззубцева М.М. Экспериментальное исследование температурного поля ЭМИПТ и метод определения теплопроводности наполнителя рабочего объема // Процессы, аппараты и оборудование пищевой технологии: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: СПбГАХИПТ, 1993. – С. 77-82.
70. Беззубцева М.М., Волков В.С. К вопросу исследования тепловых режимов переработки продукции в дисковых электромагнитных механоактиваторах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №1, Ч.2. – С. 120-122.
71. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н. Исследование тепловых режимов электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 6. – С. 108.
72. Беззубцева М.М., Волков В.С., Платашников И.С. Метод расчета стационарного теплового поля электромагнитного криоизмельчителя (ЭМКИ) // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – №13. – С. 118-122.
73. Беззубцева М.М., Лепилин В.Н. Система принудительного охлаждения ЭМИПТ // Интенсификация процессов пищевых производств, оборудование и его совершенствование: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТИХП, 1992. – С. 59-62.
74. Беззубцева М.М., Мазин Д.А., Зубков В.В. Исследование тепловых характеристик аппаратов с магнитоожженным слоем // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. – №24. – С. 311-315.
75. Беззубцева М.М., Волков В.С. Компьютерное моделирование процесса электромагнитной механоактивации в дисковом электромагнитном механоактиваторе (ЭДМА) в программном комплексе ANSYS // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – №11, Ч.1. – С. 151-153.
76. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование энергоэффективности дискового электромагнитного механоактиватора путем анализа кинетических и энергетических закономерностей // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10, Ч.9. – С. 1899-1903.