

УДК 631.371:621.311.004.18

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ШОКОЛАДНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНОАКТИВАТОРОВ

Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет». Санкт-Петербург, Пушкин, Россия (196601, СПб., Пушкин, Петербургское шоссе, д.2), e-mail: mysnegana@mail.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса измельчения рецептурного компонента шоколадных масс – сахарного песка, подтверждающие физико-математические модели формирования силовых нагрузок в слое размольных ферротел под действием постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля. Подтверждена возможность управления, как степенью измельчения, так и гранулометрическим составом продуктов помола. Приведены графические зависимости, подтверждающие, что увеличение скоростного режима работы способствует интенсификации процесса измельчения и выравнивания гранулометрического состава продуктов при регламентированном значении магнитодвижущей силы обмотки управления электромагнитного механоактиватора (ЭММА). Доказана возможность достижения в ЭММА заданного технологического эффекта. Представленные в статье данные подтверждают теоретическую зависимость, устанавливающую взаимосвязь между электромагнитным и скоростными режимами работы механоактиваторов.

Ключевые слова: электромагнитная механоактивация, сахарный песок, режимы работы.

ON THE QUESTION OF CHOCOLATE INGREDIENTS GRINDING EFFICIENCY DEPENDENCE ON THE MODES OF THE ELECTROMAGNETIC MECHANOACTIVATORS

Bezzubceva M.M., Volkov V.S., Kotov A.V., Obuhov K.N.

St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, Pushkin, Russia (196601, St.-Peterburg, Pushkin, Peterburgskoe highway, 2), e-mail: mysnegana@mail.ru

The article presents the results of experimental studies on sugar grinding process confirming physico-mathematical formation models of power loads in the layer of grinding ferroelements affected by the electromagnetic field constant in sign and controlled in magnitude. It is confirmed that there is a possibility to control the degree of grinding as well as its granulometric composition. The article shows characteristic curves confirming that the increase in operation speed contributes to the intensification of the grinding process and the alignment of the granulometric composition when regulating magneto-motive force in electromagnetic mechanoactivators (EMMAs) winding. It is proved that there is a possibility to achieve a given technological effect in EMMAs. The data shown in the article confirm the theoretical interrelationship between electromagnetic and operation speed modes of mechanoactivators.

Keywords: electromagnetic mechanical activation, sugar, modes of operation.

Кондитерская промышленность характеризуется как успешно функционирующее звено агропромышленного комплекса России, выпускающее кондитерские изделия, общей среднегодовой производственной мощностью 3,5 млн тонн с коэффициентом использования 60,5 процента. В настоящее время российский рынок кондитерских изделий близок к насыщению, рост объемов производства в будущем будет в основном осуществляться за счет наиболее динамично растущего спроса на кондитерские изделия с заданными качественными характеристиками. Согласно Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности предстоящий период до 2020 года будет характеризоваться

переоснащением отдельных видов производств и технологических потоков высокоэффективным оборудованием, позволяющим выпускать продукцию высокого стабильного качества с наименьшими затратами на производство. Анализ отечественных и зарубежных исследований [1,2] показал, что решение задачи снижения энергоемкости и себестоимости шоколадных изделий при одновременном повышении их качества требует технического перевооружения организаций с внедрением современных достижений научно-технического прогресса в наиболее энергоемкий многостадийный процесс измельчения рецептурных компонентов и их смесей [3,4,5]. При этом к приоритетному направлению относится внедрение в производство импортозамещающего инновационного оборудования и технологий, в том числе и инновационных аппаратов отечественного производства – электромагнитных механоактиваторов [6,7,8].

Целью исследования является экспериментальное подтверждение теоретических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между электромагнитными и скоростными режимами работы ЭММА, при которых обеспечивается максимизация механических воздействий при минимальных затратах энергии на их формирование. Выявление режимов работы электромагнитного механоактиватора, при которых достигается заданный технологический эффект измельчения сахарной пудры, предназначенной для производства шоколада.

Материал и методы исследований. Объектом исследования является зависимость технологического эффекта измельчения сахарного песка от физико-механических процессов, происходящих в рабочем объеме механоактиваторов при различных режимах его работы. Используются аналитические и экспериментально-статистическими методы исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из факторов, влияющих на величину силового взаимодействия ферромагнитных размольных элементов в рабочем объеме ЭММА, является скорость их переориентации в структурных группах, зависящая от частоты вращения ротора аппарата [9]. Экспериментальные исследования процесса диспергирования сахарного песка проведены на макете, моделирующем рабочий объем цилиндрических ЭММА (рисунок 1). С целью установления влияния скоростного режима работы ЭММА на дисперсность продукта были проведены серии экспериментов при частоте вращения внутреннего цилиндра устройства в диапазоне $n = 14 \text{ с}^{-1} - 26 \text{ с}^{-1}$. Технологический эффект процесса измельчения оценивался величиной "прохода" (D_{630}) фракций больше 30 мкм и гранулометрическими характеристиками, изображенными в виде диаграмм. Результаты исследований представлены на рис. 2 и 3.

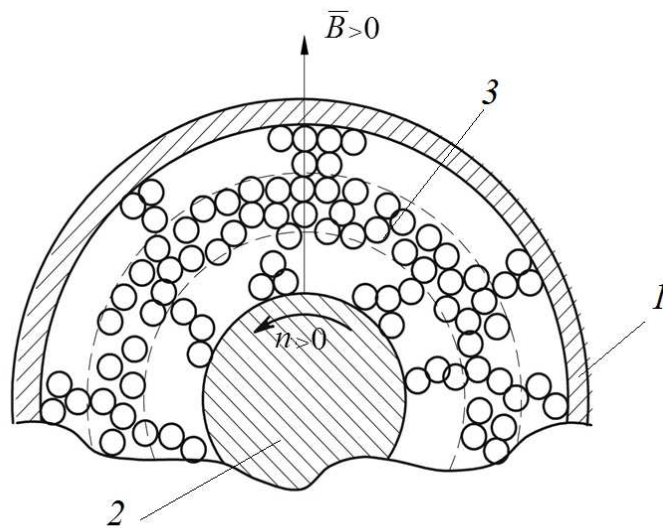


Рис.1. Рабочий объем ЭММА:

1 – цилиндрический корпус; 2 – ротор; 3 – ферромагнитные размольные элементы; B – индукция магнитного поля; n – частота вращения ротора

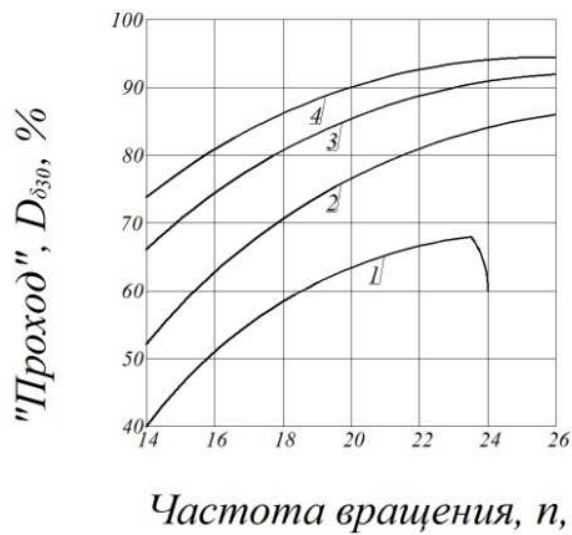


Рис. 2. Зависимость «прохода» измельченной сахарной пудры от частоты вращения внутреннего цилиндра ЭММА при силе тока в обмотке управления I_y :

1 – $I_y = 0,2$ А; 2 – $I_y = 0,4$ А; 3 – $I_y = 0,6$ А; 4 – $I_y = 0,8$ А

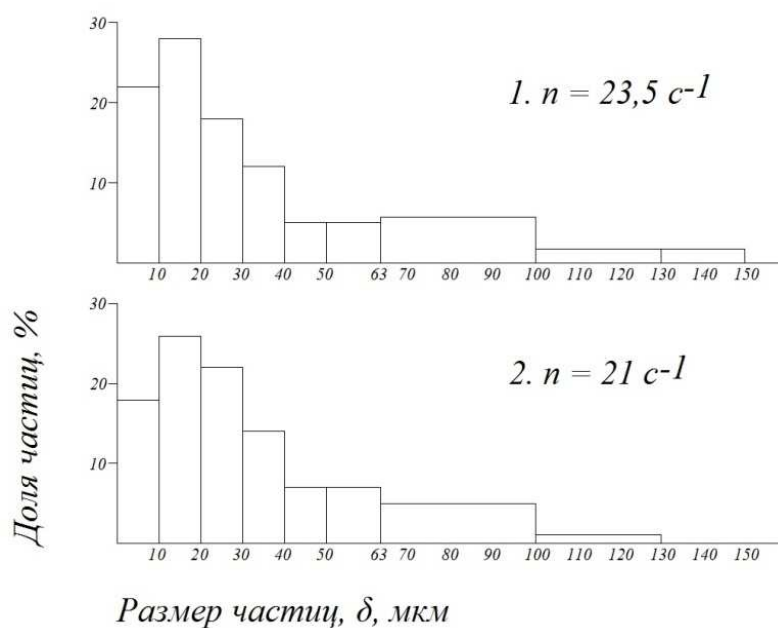


Рис. 3. Диаграммы фракционного состава сахарной пудры, полученной на ЭММА при частоте вращения внутреннего цилиндра n , c^{-1} : 1 – $n = 23,5 \text{ c}^{-1}$; 2 – $n = 21 \text{ c}^{-1}$

Анализ полученных данных подтвердил, что характер зависимостей $D_{630} = f(n)$ определяется электромагнитным режимом работы ЭММА, влияющим на динамику физико-механических процессов формирования структурных групп из ферромагнитных размольных элементов в рабочем объеме устройства. Возрастающий ход зависимостей характерен для высоких электромагнитных режимов работы, определяемых током в обмотке управления $I_y > 0,2 \text{ А}$ и обусловлен усилением суммарных ударно-истирающих нагрузок по обрабатываемому продукту со стороны размольных элементов в результате их четкой переориентации в «слое скольжения» [10,11]. При этом установлено, что с увеличением тока управления, исследуемые кривые смещаются в область более измельченного материала. Так, при диспергировании продукта в электромагнитном режиме работы $I_y = 0,8 \text{ А}$ зависимость $D_{630} = f(n)$ имеет наивысшее расположение и при $n = 26 \text{ c}^{-1}$ доля частиц сахарной пудры размером более 30 мкм, которая ухудшает органолептические показатели шоколада, составляет примерно 5 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к качеству рецептурного компонента при производстве шоколадных масс.

При диспергировании продукта в режиме работы, определяемым током управления $I_y = 0,2 \text{ А}$, характер зависимости $D_{630} = f(n)$ меняется и она имеет экстремальный характер. Так, при увеличении частоты вращения от 14 до $23,5 \text{ c}^{-1}$ "проход" по контролируемой фракции возрастает и, достигнув максимума $D_{630} = 68 \%$ при $n = 23,5 \text{ c}^{-1}$, резко снижается. Экстремальный ход зависимости обусловлен в данном случае изменением траектории движения размольных ферроэлементов. Возрастающая ветвь зависимости может быть объяснена увеличением числа и силы соударений между размольными элементами в

результате ускорения процесса их переориентации в структурных группах. Падающая часть характеристики обусловлена нарушением равновесного состояния приложенных к ферротелам сил магнитного и механического характера.

При увеличении частоты вращения ротора выше максимального (в данном случае при $n = 23,5 \text{ с}^{-1}$) центробежные силы преобладают над силами сцепления ферромагнитных элементов в основаниях структуры групп с поверхностью внутреннего цилиндра, что вызывает их переориентацию к периферийной части рабочего объема устройства и вовлечению в совместное круговое движение. Групповое вращение размольных элементов у поверхности наружного цилиндра снижает силовое воздействие на продукт и вероятность соударений с частицами измельчаемого материала. В результате не достигается заданный условиями производства технологический эффект измельчения, что приводит к нерациональному использованию привнесенной в рабочий объем энергии и увеличению контролируемого параметра – энергоемкости готовых изделий.

Сравнительный анализ гранулометрического состава продуктов помола, обрабатываемых в скоростных режимах работы $n = 23,5 \text{ с}^{-1}$ и $n = 21 \text{ с}^{-1}$ (рис. 3), подтвердил вышеизложенные доводы о влиянии траектории движения размольных элементов в рабочем объеме ЭММА на однородность гранулометрического состава диспергированной сахарной пудры.

При диспергировании продукта в экстремальном скоростном режиме количество ударных импульсов на частицы уменьшается в результате оттеснения части ферромагнитных размольных элементов к периферийной области рабочего объема устройства. При этом сила ударных нагрузок со стороны размольных элементов, охваченных в структурные группы, возрастает. В результате компенсации числа ударов их силой доля частиц сахарной пудры размером менее 30 мкм в экстремальном режиме незначительно увеличивается (примерно на 2 %), а однородность продукта за счет снижения интенсивности обработки снижается.

Таким образом, из экспериментальных исследований и дисперсионного анализа установлено, что измельчение в экстремальном скоростном режиме приводит к получению более полидисперсного продукта с размерами частиц в достаточно широком диапазоне (от 150 до 10 мкм и менее). В то время как в сахарной пудре, полученной при частоте вращения внутреннего цилиндра $n = 21 \text{ с}^{-1}$, практически отсутствуют частицы размером более 130 мкм, а доля мелкодисперсных фракций (менее 10 мкм), ухудшающая экономические показатели производства готового шоколада, уменьшается с 22 до 18 %, то есть примерно в 1,2 раза, что свидетельствует о повышении степени его монодисперсности.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов по диспергированию сахарного песка электромагнитным способом механоактивации установлена возможность

управления дисперсностью обрабатываемого продукта путем регулирования частоты вращения ротора. При этом установлено, что увеличение скоростного режима работы эффективно до определенного экстремального значения, обусловленного электромагнитным режимом работы аппарата [12,13]. В этом случае соотношение сил магнитного и механического характера, приложенных к размольным ферроэлементам, обеспечивает их четкую переориентацию в структурных группах, что способствует формированию энергонапряженных ударно-истирающих диспергирующих нагрузок. Обеспечение заданной траектории движения размольных элементов и создание слоя скольжения в средней части рабочего объема способствует повышению как однородности, так и степени измельчения обрабатываемого продукта.

Заключение

Экспериментально подтверждены теоретические зависимости, устанавливающие соотношение между электромагнитными и скоростными режимами работы ЭММА, при котором обеспечивается максимизация механических воздействий при минимальных затратах энергии на их формирование.

Измельчение сахарного песка до сахарной пудры при напряженных электромагнитных и высоких скоростных режимах работы ЭММА позволили получить продукт высокого качества, отвечающего требованиям, предъявляемым к гранулометрическому составу рецептурных компонентов шоколадных изделий. Минимальное содержание частиц крупных классов с размером более 30 мкм составляет 5 % (по норме не более 10 %).

Список литературы

1. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н. Электромагнитная механоактивация полуфабрикатов шоколадного производства // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3 (ч. 1). – С. 73-74
2. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения какао бобов в электромагнитных механоактиваторах // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 171.
3. Беззубцева М.М. Интенсификация классических технологических схем переработки сырья на стадии измельчения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2-2. – С. 132-133.
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., Обухов К.Н. К вопросу исследования процесса электромагнитной механоактивации пищевого сельскохозяйственного сырья // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-2. – С. 232-234.
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., Волков В.С. Теоретические исследования электромагнитного способа измельчения материалов (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2-1. – С. 68-69.
8. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Загаевски Н.Н. Формирование диспергирующих нагрузок в магнитоожигенном слое электромагнитных механоактиваторов // Современные наукоёмкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 78–80.
9. Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях энергоэффективности потребительских энергосистем АПК // Современные наукоёмкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 71-72.
10. Волков В.С., Беззубцева М.М., Обухов К.Н., Котов А.В. Энергетическая теория способа формирования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (ч. 6). – С. 1157-1161.
11. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование режимов работы электромагнитных механоактиваторов // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 8. – С. 109-110.
12. Беззубцева М.М., Волков В.С. Рекомендации по проектированию электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5-2. – С. 128-129.
13. Беззубцева М.М., Волков В.С. Исследование физико-механических процессов в магнитоожигенном слое феррочастиц // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 1-1. – С. 13-17.

Рецензенты:

Ракутько С.А., д.т.н., доцент, гл. научный сотрудник лаборатории энергоэффективных электротехнологий ИАЭП, г. Москва;

Салова Т.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий» СПбГАУ, руководитель ведущей научной и научно-педагогической школы СПб «Системы, узлы и агрегаты двигателей», г. Санкт Петербург.