

УДК 621.311(075)

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ШОКОЛАДНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ДИСПЕРГИРОВАННЫХ В АППАРАТАХ С МАГНИТООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ ФЕРРОТЕЛ

Беззубцева М.М.

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

В статье представлены результаты исследования энергоемкости полуфабрикатов шоколадного производства, переработанных в аппаратах с магнитоожигенным слоем ферротел – электромагнитных механоактиваторов (ЭММА). Показано, что определяющими факторами, характеризующими процесс измельчения шоколадных полуфабрикатов электромагнитным способом, являются затраты энергии на проведение этого процесса в экспериментально установленном оптимальном режиме работы ЭММА, при котором выход готового продукта имеет стандартную степень измельчения при высоком показателе однородности гранулометрического состава. Выявлено, что удельный расход энергии на образование единицы поверхности продукта в ЭММА в 1,2...1,7 раза меньше по сравнению с энергозатратами на измельчение аналогичных продуктов такой же крупности традиционными способами по многостадийной схеме производства.

Ключевые слова: электромагнитные механоактиваторы, шоколад, энергоемкость

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION OF SEMI-FINISHED PRODUCTS OF CHOCOLATE PRODUCTION, DISPERSED IN DEVICES WITH MAGNETIC LIQUEFIED LAYER FERROTEL

Bezzubceva M.M.

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

The article presents the results of a study of power consumption of semi-finished products of chocolate production, processed in devices with magnetic liquefied layer Ferrotel – electromagnetic mechanoactivation (EMMA). It is shown that the determining factors that characterize the process of grinding chocolate semi-finished products electromagnetic method are the cost of energy for carrying out this process in the experimentally established optimal operation of EMMA, in which the output of the finished product has a standard degree of comminution with high uniformity of particle size distribution. It is revealed that the specific energy consumption per unit of product surface in EMMA 1.2...1.7 times less compared to energy consumption for grinding of the same products of the same size by conventional methods for multistage scheme of production.

Keywords: electromagnetic mehanaaktivatory, chocolate, energy

Процесс измельчения твердых тел представляет собой крупную научную и техническую проблему, вызванную отсутствием обобщенной теории, всесторонне объясняющей этот процесс и дающей точный математический аппарат для проектирования измельчающего оборудования, отвечающего требованиям производства по показателю энергоэффективности и селективности. В этой связи продукты помола отличаются завышенной энергоемкостью. В результате комплексного исследования [1] выявлено несоответствие между технологическим и физически обоснованным энергопотреблением мельниц практически на всех стадиях диспергирования и механоактивации. Для решения этой актуальной проблемы необходим качественный переход к конструированию измельчающих устройств, основанных на принципах, обеспечивающих максимальное приближение энергии, потребляемой устройством из сети, к физическим обоснованным энергозатратам с учетом упрочнения частиц при уменьшении их размера

в процессе помола. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что к адаптивным системам, обеспечивающим сбалансированное и управляемое энергетическое воздействие на частицы измельчаемого продукта, относятся электромагнитные механоактиваторы (ЭММА) [2, 3, 4]. ЭММА – это аппараты отечественной разработки. В связи с тем, что в настоящее время импортозамещение становится одной из стратегических задач российского АПК, то внедрение инновационного энергоэффективного оборудования в аппаратурно-технологические схемы производства является необходимой мерой, способствующей устойчивому развитию отрасли [4, 12, 14]. Исследования показали, что одним из самых пострадавших сегментов пищевой отрасли за последние годы является шоколадное производство. Стоимость 100 г шоколада в России в июне 2015 года составляла 68,2 рубля, что больше цены аналогичного периода 2014 года на 34,5%. В марте 2015 года рост цен на

шоколад к такому же периоду 2014 года составлял 38%. Это связано с высокими ценами на ингредиенты, используемые при производстве шоколада, снижением покупательной способности россиян и некоторыми другими факторами. Производители не могут повышать цены на готовую продукцию пропорционально росту затрат на её производство, и фактически большинство предприятий работают на грани рентабельности. В этой связи в статье представлены результаты исследований процесса механоактивации рецептурных компонентов шоколадного производства в аппаратах нового типа отечественной разработки, свидетельствующие о целесообразности внедрения ЭММА в аппаратурно-технологические системы производства шоколадных изделий [8].

Целью исследования является анализ энергоёмкости полуфабрикатов шоколадного производства, диспергированных в аппаратах с магнитооживленным слоем ферротел – электромагнитных механоактиваторов (ЭММА).

Материалы и методы исследования

Энергоэффективность электромагнитных механоактиваторов в аппаратурно-технологических схемах производства шоколадных изделий. Используются аналитические и экспериментально-статистические методы исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Продукты шоколадного производства, измельченные электромагнитным способом, состоят из смеси твердых частиц, величина которых колеблется в определенных пределах в зависимости от времени их обработки в ЭММА. Технологические требования, предъявляемые к гранулометрическому составу частиц дисперсной фазы шоколадных полуфабрикатов, обуславливают использование двух критериев для оценки качества их измельчения – степень измельчения и «проход» фракций размером менее 10 мкм. Из рассмотрения физико-механических процессов, происходящих в ЭММА, можно заключить, что размольные элементы под действием двух потоков энергии создают достаточно однородное поле силового воздействия на частицы продукта, который одновременно с усилиями разрушения подвергается интенсивному перемешиванию по всему объему рабочей камеры [11, 13, 15]. С увеличением времени обработки все большее число частиц попадает под действие размольных элементов, в результате чего частицы разрушаются и переходят в область более мелких фракций. По мере уменьшения среднего размера частиц их прочность, т.е. сопротивляемость разрушению возрас-

тает. Одновременно уменьшается и вероятность попадания частиц в зону силового воздействия. Требования к дисперсности шоколадных масс (основного полуфабриката шоколадного производства) установлены ГОСТом 6534-69 «Шоколад» и ОСТом 18-214-75 «Шоколадная глазурь», согласно которым степень измельчения обыкновенных шоколадных масс должна составлять не менее 92%, а десертного – не менее 96%. При диспергировании шоколадной массы на аппарате с новым регулируемым способом формирования измельчающего усилия, необходимо стремиться к получению продукта с оптимальным размером частиц в диапазоне от 10 до 30 мкм, что обеспечивает высокие вкусовые достоинства готового шоколада и экономичность его приготовления.

Определяющими факторами, характеризующими процесс измельчения шоколадных полуфабрикатов электромагнитным способом, являются затраты энергии на проведение этого процесса в экспериментально определенном оптимальном режиме работы ЭММА, при котором выход готового продукта имеет установленную стандартом степень измельчения при высоком показателе однородности его гранулометрического состава [5, 6, 7]. Учитывая отсутствие аналогов электромагнитного способа измельчения материалов [10], а также аппаратов, его реализующих, и выполняемую ими функцию совмещения стадий предварительного, среднего и тонкого помола, для сравнительной оценки энергоёмкости процесса измельчения в ЭММА целесообразно принять в качестве характеристики дисперсности продукта его удельную поверхность, а в качестве характеристики механоактиватора – энергию, передаваемую им единице массы материала, или расход энергии на образование единицы удельной поверхности измельченного продукта.

Исследования проводили на аппаратах двух конструктивных модификаций, представляющих предмет изобретений (патенты РФ № 769 и №86493) [14]. Конструкции ЭММА представлены на рис. 1 и 2.

Согласно классификации [14] ЭММА – 2Ш относится к аппаратам группы цилиндрического исполнения (1 группа), двухроторный, коаксиальный, униполярный, пятикатушечный, однокамерный, с механической энергией смещения, непрерывный, снабжен рубашкой охлаждения, вертикального исполнения. Технологическое назначение: совмещенные процессы среднетонкого измельчения и перемешивания жидких и полужидких материалов в сельскохозяйственной, пищевой, химической, строительной и микробиологической промышленности.

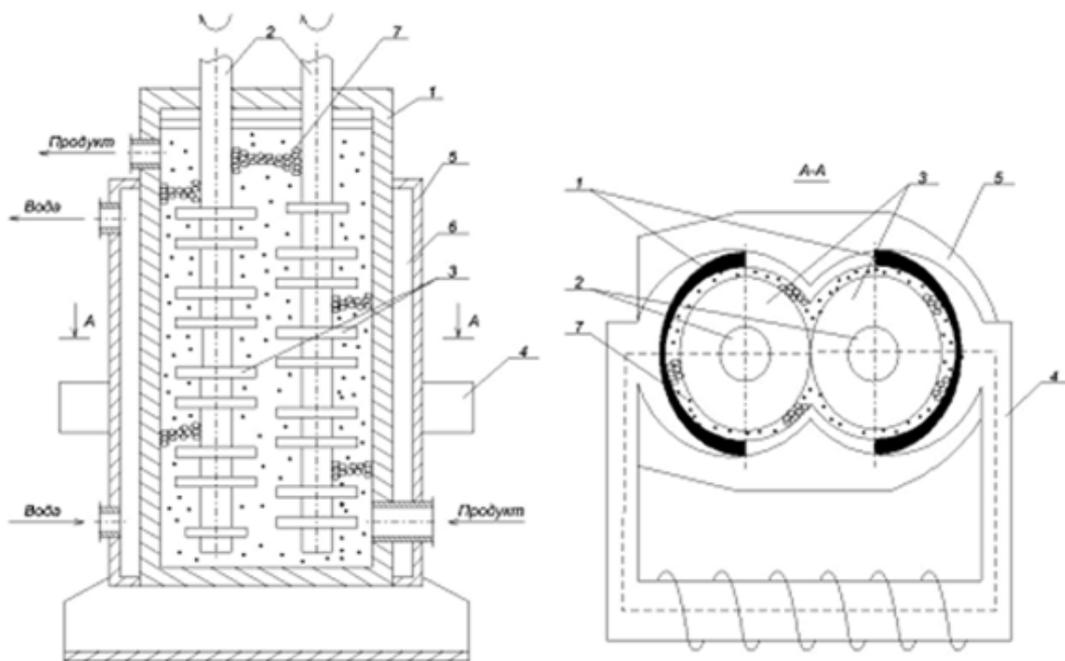


Рис. 1. Конструктивная схема ЭММА – 2Ш (Патент РФ № 769): 1 – корпус; 2 – роторы; 3 – диски; 4 – выносной электромагнит; 5 – контейнер; 6 – рубашка охлаждения; 7 – сферические размольные тела

Аппарат ЭММА – 2С, представленный на рис. 2, также относится к группе цилиндрического исполнения, однороторный, коаксиальный, униполярный, 2-катушечный, однокамерный, с механическим смещением, импульсный, снабжен автоматической системой управления работой электромагнитов, вертикального исполнения. Аппарат предназначен для среднего, тонкого и сверхтонкого измельчения-механоактивации материалов различной консистенции с совмещением тонких и сверхтонких стадий диспергирования в линиях производства готовых изделий в сельскохозяйственной, пищевой, пищевых концентратной и фармацевтической промышленности.

Согласно проведенным исследованиям, если относить затраты энергии, непосредственно идущие на измельчение (энергия, потребляемая ЭММА с измельчаемым материалом, за вычетом энергии, потребляемой на организацию измельчающего усилия), то зависимость удельной поверхности твердой фазы полуфабрикатов от затрат такой полезно затраченной энергии не зависит от массы измельченного продукта. Между тем, эта независимость имеет место лишь в том случае, если силовое воздействие размольных элементов превосходит некоторую, характерную для измельчаемого матери-

ала, величину, минимально необходимую для разрушения самых крупных частиц, иными словами, если ЭММА работает в оптимальных скоростных и электромагнитных режимах [1].

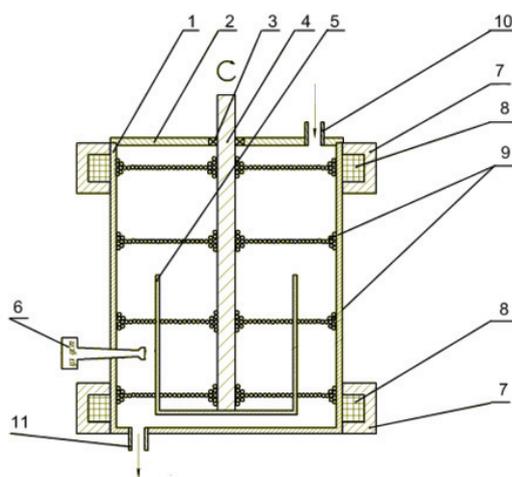


Рис. 2. Конструктивная схема ЭММА – 2С (Патент РФ № 86493): 1 – цилиндрическая емкость; 2 – крышка; 3 – подшипник; 4 – ротор; 5 – лопасти; 6 – ультразвуковое устройство; 7 – ферромагнитное кольцо; 8 – ОУ; 9 – ферромагнитные элементы; 10 – загрузочный патрубок; 11 – разгрузочный патрубок

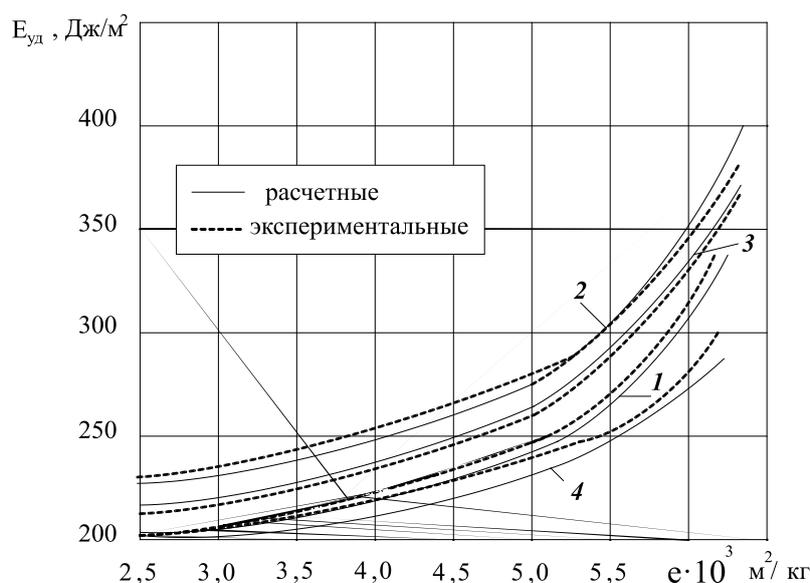


Рис. 3. Удельная энергия измельчения полуфабрикатов шоколадного производства электромагнитным способом: 1 – шоколадная масса ($n_c = 2,5$); 2 – шоколадная масса ($n_c = 2$); 3 – сахарный песок; 4 – какао тертое

Уменьшение величины частиц сахара с 500...100 мкм до 96,0% частиц менее 30 мкм составляет не более 3 кВт·ч на тонну измельченного электромагнитным способом продукта. Количество энергии, затрачиваемой при измельчении частиц какао от начальной величины 0,5...0,8 мм до конечного размера 10 мкм, только незначительно отличается от количества энергии, необходимой для измельчения частиц сахара, и составляет не более 2,8 кВт·ч на тонну продукта. Эти значения примерно на 8–10% меньше по сравнению с суммарными энергозатратами на многостадийное измельчение шоколадных полуфабрикатов на традиционном механическом оборудовании.

Удельная энергия измельчения продуктов в ЭММА определена по формуле

$$E_{уд} = \frac{E_M}{\sum e}, \quad (1)$$

где $\sum e$ – суммарная удельная поверхность обрабатываемого продукта, м²/кг;
 E_M – привнесенная энергия, кДж/кг;

$$E_M = \frac{(P_{об} + P_{пр})t \cdot 3,6 \cdot 10^6}{60}, \quad (2)$$

где $P_{об}$ – мощность рабочего процесса организации измельчающего усилия;
 $P_{пр}$ – мощность процесса измельчения компонентов электромагнитным способом;
 t – время измельчения, мин.

Удельная поверхность полифракционно-го материала рассчитана путем умножения

удельной поверхности соответствующей фракции на ее количество с последующим суммированием по всем фракциям:

$$\sum e = e_1 n_{e1} + e_2 n_{e2} + \dots + e_i n_{ei}, \quad (3)$$

где e_1, e_2, \dots, e_i – удельная поверхность отдельных монофракций; $e_1 n_{e1}, e_2 n_{e2}, \dots, e_i n_{ei}$ – процентное содержание этих монофракций в измельченных компонентах.

Удельная поверхность отдельных фракций определена из равенства

$$e = \frac{\delta}{P_{ом} \cdot \delta \cdot 10^{-6}}, \quad (4)$$

где $P_{ом}$ – плотность обрабатываемого продукта, кг/м³; δ – размер фракции, м.

Установлено, что удельный расход энергии на образование единицы поверхности продукта в ЭММА в 1,2...1,7 раза меньше по сравнению с энергозатратами на измельчение аналогичных продуктов такой же крупности традиционными способами по многостадийной схеме производства. Полученные данные (в пересчете на тонну измельчаемого продукта) свидетельствуют, что затраты энергии на одностадийное диспергирование шоколадных полуфабрикатов в одном аппарате типа ЭММА составляют не более 54 кВт·ч/т, в то время как используемые в настоящее время на кондитерских предприятиях мельницы потребляют на каждой стадии измельчения (предварительный, средний и тонкий помол) от 35 до 100 кВт·ч/т обработанного продукта [9].

При этом, как показали предыдущие исследования, по качеству продукта помола и экономическим параметрам электромагнитный способ измельчения имеет более высокие показатели по сравнению с традиционными способами обработки полуфабрикатов шоколадного производства на механическом оборудовании.

Заключение

Разработка научных основ электромагнитного способа механоактивации с учетом энергетических теорий разрушения твердых тел под действием внешней нагрузки – задача большой практической значимости. Научно обоснованный системный подход к решению проблемы повышения энергоэффективности процесса в ЭММА позволит экономить значительные средства при проектировании новых типовых рядов аппаратов на заданные объемы производства. Исследование энергетических закономерностей механоактивации необходимо для проектирования механоактиваторов новых конструкций, определения оптимальных условий и повышения эффективности их работы, выборе рациональных аппаратно-технологических схем переработки сырья, в том числе и полуфабрикатов шоколадного производства. Представленные в статье результаты исследований энергоемкости продукции, полученной путем механоактивации в аппаратах нового типа – ЭММА, свидетельствуют о целесообразности внедрения в аппаратно-технологические системы переработки электрофизических методов интенсификации процессов с использованием нетрадиционного вида энергии – энергии постоянного электромагнитного поля.

Список литературы

1. Беззубцева М.М. Прикладные исследования энергоэффективности электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 83.
2. Беззубцева М.М. Энергоэффективный способ электромагнитной механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 5. – С. 92–93.
3. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители для пищевого сельскохозяйственного сырья (теория и тех-

нолог. возможности). Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, 1997.

4. 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.

5. Беззубцева М.М. К вопросу исследования кинетики измельчения материалов в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 81–82.

6. Беззубцева М.М. Уравнения кинетики процессов диспергирования в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 83–84.

7. Беззубцева М.М. Условия энергоэффективности работы электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 84–85.

8. Беззубцева М.М. Интенсификация классических технологических схем переработки сырья на стадии измельчения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2-2. – С. 132–133.

9. Беззубцева М.М. Способ измельчения шоколадных масс // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1993. – № 5-6. – С. 65–67.

10. Беззубцева М.М., Волков В.С. Классификация электромагнитных механоактиваторов по технологическому назначению // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-1. – С. 25–27.

11. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования физико-механических процессов в магнитооживленном слое ферротел // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 191–195.

12. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. Электромагнитный способ снижения энергоемкости продукции на стадии измельчения // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-3. – С. 399–400.

13. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-5. – С. 847–851.

14. Беззубцева М.М., Платашенков И.С., Волков В.С. Классификация электромагнитных измельчителей для пищевого сельскохозяйственного сырья // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 10. – С. 150–153.

15. Bezzubtseva M.M., Ruzhev V.A., Yuldashev R.Z. Electromagnetik mechanoactivation of dry construction mixes // International journal of applied and fundamental research. – 2013. – № 2. – С. 24165.