

$$K_H = \frac{1 + R_{\delta H} \left(\frac{1}{R_{\delta_{30,10(2)}}} - \frac{1}{R_{\delta_{30,10(1)}}} \right)}{\left(\frac{R_{\delta H}}{R_{\delta_{30,10(1)}}} - 1 \right)^2},$$

$$K_a = \frac{\ln \left(\frac{R_{\delta H} K_H}{R_{\delta_{30,10}}} - K_H + 1 \right)}{K_H t}.$$

Используя кинетические кривые процесса измельчения, могут быть определены коэффициенты K_H и K_a и составлены уравнения кинетики, описывающие содержание контролируемых фракций в продукте в любой момент времени обработки. При этом на основании принципа независимости измельчения компонентов, зная кинетику измельчения этих компонентов [4], можно составить уравнение кинетики измельчения их смеси. «Остатки» фракций размером более 30 и 10 мкм при измельчении компонентов (например, шоколадных масс) определены как сумма «остатков» отдельных компонентов с учетом их доли в смеси:

$$R_{\delta_{cm}} = \frac{\beta K_{Hc} R_{\delta H(c)}}{e^{K_{Hc} K_{ac} t} + K_{Hc} - 1} + \frac{(1 - \beta) K_H R_{\delta H(k)}}{e^{K_{Hk} K_{kt}} + K_{Hk} - 1}$$

здесь $R_{\delta_{cm}}$ – «остаток» неизмельченного материала по контролируемому размеру фракций смеси компонентов; β – содержание первого компонента в смеси, доли ед.; $(1 - \beta)$ – содержание второго компонента в смеси, доли ед.

Список литературы

1. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. Электромагнитный способ снижения энергоемкости продукции на стадии измельчения // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-3. – С. 399-400.
2. 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.
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.

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА КРИОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНОАКТИВАТОРАХ

Беззубцева М.М.

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

Для термолабильных продуктов с низкими температурами размягчения (пряности, шоко-

лад, эфирно-масляное растительное сырье и др.) целесообразно использовать в аппаратно-технологических процессах электромагнитной механоактивации криоизмельчение [1, 2, 3]. При охлаждении эти продукты «охрупчиваются», что способствует их эффективному разрушению под действием внешней нагрузки при значительном снижении энергозатрат. В результате исследований выявлены основные достоинства диспергирования с использованием криотехнологий: снижение времени производственного цикла, улучшение качественных показателей готовых изделий, ресурсо- и энергосбережение. Использован жидкий азот. Основные свойства – инертность, низкая температура и высокие термодинамическими свойствами. Выбран способ орошения. При моделировании замораживания использованы классические алгоритмы расчета. Количество вымороженной из продукта воды

$$\omega = \frac{G_l}{G_H},$$

здесь G_l – масса льда; G_H – начальная масса воды.

Величина ω по мере снижения температуры до криоскопической ткр изменяется в пределах от 0 до 1 и может быть вычислена по формуле

$$\omega = \left(1 - b \frac{1 - W}{W} \right) \left(1 - \frac{t_{kp}}{t} \right)$$

здесь $b = 0,08 - 0,352$ кг/кг – содержание прочно связанной воды на единицу массы сухого вещества в исследуемых продуктах растительного происхождения, кг/кг; W – начальное содержание влаги в продукте.

Уравнение теплопроводности для сферической частицы имеет вид

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{2\lambda}{r} \frac{\partial t}{\partial r}$$

здесь c – теплоемкость, Дж/кг·К; ρ – плотность, кг/м³; λ – теплопроводность, Вт/м·К.

Теплоемкость до начала замораживания ($t > t_{kp}$) определена по формуле $c = c_c (1 - W) + c_w W$ (c_c, c_w – теплоемкости сухой массы и воды, соответственно, Дж/кг·К). Теплота фазового перехода учтена как дополнительная теплоемкость и определена соотношением

$$c = c_c (1 - W) + c_w \omega W + c_e \omega (1 - W) + W_r \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

здесь W_r – теплота кристаллизации воды, кДж/кг.

Скорость замораживания выражена как линейная скорость движения границы раздела фаз:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{q_s \cdot \rho \cdot (t_{kp} - t_c)}{\left(\frac{r}{\lambda_{np}} + \frac{1}{\alpha} \right)}$$

Список литературы

1. Беззубцева М.М., Ковалев М.Э. Электротехнологии переработки и хранения сельскохозяйственной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 6. – С. 50-51.
2. 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.
3. Беззубцева М.М., Платашенков И.С., Волков В.С. Электромагнитный криоизмельчитель для диспергирования продуктов растительного происхождения. В сборнике: Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий сборник научных трудов. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2008. – С. 96-100.

**ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
МЕХАНОАКТИВАТОРОВ**

Беззубцева М.М.

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

Результаты прикладных исследований электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) для аппаратурно-технологических систем производства цемента [1, 2], проведенные на базе фундаментальных исследований способа электромагнитной механоактивации [3, 4], показали перспективность оценки энергоэффективности этих аппаратов на основании анализа критерияльных зависимостей эксергетического КПД исследуемого процесса и критерия энергетических затрат с учетом показателя активности, определяемого классом прочности цемента [3]. Известно, что величиной коэффициента концентрации эксергии $K = \frac{E_c}{a}$ можно наиболее эффективно оценить эксергетические показатели производимой цементной продукции. Выявлено, что увеличение этого показателя способствует уменьшению энергозатрат, что априори приводит к уменьшению энергоемкости выпускаемых изделий – основному показателю энергоэффективности производства. В исследованиях использованы следующие соотношения:

$$\frac{E_c}{\sum E}; \frac{E_c}{0,1 \sum E}; \frac{E_c}{0,04 \sum E}$$

полученные из системы балансовых эксергетических уравнений исследуемого процесса. В представленных соотношениях (критериях) $\sum E$ – это подводимая эксергия, а коэффициенты 0,1 и 0,4 – это доли, затрачиваемые на процессы механоактивации и образование новой поверхности. При анализе энергоэффективности ЭММА использован традиционный безраз-

мерный критерий энергозатрат, определенный как отношение удельных энергозатрат $\dot{E}_{уд}$ (т.е. энергетических затрат на производство тонны продукта) к величине показателя концентрации эксергии: $\frac{\dot{E}_{уд}}{3,6K}$ (соотношение представлено с учетом размерности используемых единиц измерения). В результате исследований [1, 3, 5] установлено, что организация диспергирования при выполнении условия максимизации показателя «K» в реализуемом процессе, позволило повысить энергоэффективность ЭММА с гарантированным уменьшением энергоемкости выпускаемой продукции в 1,265–1,312 раза.

Список литературы

1. Беззубцева М.М., Ковалев М.Э. К вопросу электромагнитной активации строительных смесей. В сборнике: Пятая международная научная конференция Ирана и России по проблемам развития сельского хозяйства. – 2010. – С. 487-488.
2. Беззубцева М.М., Волков В.С., Загаевски Н.Н. Исследование процесса электромагнитной механоактивации (ЭММА) строительных смесей. В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава. Редколлегия: Н.Б. Алати, А.И. Анисимов, М.А. Арефьев, С.М. Бычкова, Ф.Ф. Ганусевич, Г.А. Ефимова, В.Н. Карпов, А.П. Каргошкин, М.В. Москалев, М.А. Новиков, Г.С. Осипова, Н.В. Пристач, Д.А. Шишов; главный редактор: В.А. Ефимов, заместитель главного редактора: В.А. Смелик. 2015. – С. 435-438.
3. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители для пищевого сельскохозяйственного сырья (теория и технолог. возможности) диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1997.
4. Беззубцева М.М., Бороденков М.Н. Анализ направлений повышения энергоэффективности размольного оборудования // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 9. – С. 85-86.
5. 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.

**УРАВНЕНИЯ КИНЕТИКИ
ПРОЦЕССОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
МЕХАНОАКТИВАТОРАХ (ЭММА)**

Беззубцева М.М.

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

В ЭММА [1] размольные элементы под действием двух потоков энергии создают однородное поле силового воздействия на частицы продукта, который подвергается интенсивному разрушению по всему объему рабочей камеры [1, 2, 3]. С увеличением времени обработки все большее число частиц попадает под действие размольных элементов. В результате частицы разрушаются и переходят в область более мелких фракций. По мере уменьшения среднего размера частиц их прочность (сопротивляемость разрушению) возрастает. Одновременно сокращается и вероятность попадания частиц в зону силового взаимодействия. Совместное воздействие этих факторов уменьшает скорость измельчения материала с течением времени об-