

Возможности моделирования измельчения пищевых добавок для продуктов функционального питания

Д-р техн. наук, проф. Г. В. АЛЕКСЕЕВ, Е. А. ДАНИЛЕНКО

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Model of the possible development of the cavity is considered in work up to destruction of the block cheese in zone of her formation. The Branch of the small particles is from block cheese possible to consider as elementary act of the pulverizing. Since such act of the destruction is connected with use of power of the near interaction (the molecular and atomic), that correct to speak of his use as element nanotechnology.

Key words: food additive, functional nutrition, egg shell pounding, process model in cavitation grinding equipment.

Ключевые слова: пищевая добавка, функциональное питание, измельчение яичной скорлупы, модель процесса в кавитационно-истирающем оборудовании.

В рамках проведения экспериментальных исследований был выяснен ряд особенностей, которые необходимо учитывать при введении пищевой добавки в виде измельченной скорлупы куриного яйца в мучные кондитерские изделия для придания им свойств продуктов функционального питания.

Для эксперимента был выбран широко применяемый в кондитерском производстве вид теста: бисквит, приготовленный традиционным способом. Главными потребителями бисквитов являются дети, поэтому обогащение данного вида кондитерских изделий микроэлементами крайне необходимо.

Яичная скорлупа являлась объектом исследований еще прошлого столетия. Однако даже в условиях научно-технического прогресса и постоянного совершенствования производства мучных кондитерских изделий так и не были сформулированы технологические рекомендации по ее промышленному использованию. Несмотря на то, что данный вид пищевой добавки не требует дополнительных материальных затрат на производство и постоянно возрастают требования потребителей к качеству и полезности товаров широкого потребления (к которым относят также и продукцию кондитерского производства), промышленное применение яичной скорлупы в настоящее время составляет лишь 16 % общего количества скорлупы (84 % — утилизируется).

Одним из препятствий на пути реализации достоинств указанной добавки на практике является отсутствие раз-

работок промышленно пригодных способов измельчения до необходимой кондиции и равномерного распределения в полуфабрикате.

Целью нашего исследования является введение в технологический процесс производства мучных кондитерских изделий скорлупы куриных яиц как ценного источника кальция.

На первом этапе проведения эксперимента эту добавку вводили в количестве 1–2,5 % к массе муки, что обусловлено анализом ее физико-химических свойств по данным литературы.

Наиболее благоприятный этап, на котором лучше проводить технологический процесс введения пищевой добавки, — это предварительное смешивание ее с мукою в заданном процентном соотношении (1–2,5 %), а уже затем введение во взбитый меланж с сахаром (для бисквитного теста). Заметное улучшение органолептических показателей наблюдалось при введении яичной скорлупы в количестве 2,5 % к массе муки, необходимой для приготовления бисквита основным способом. Дальнейшие исследования были ограничены численным пределом введения добавки, связанным с размерами частиц, достигаемых при ручном помоле скорлупы.

Результаты первого этапа исследований показали, что органолептические показатели и питательные свойства могут улучшаться и далее при увеличении дисперсности.

Дальнейшее проведение исследований может быть продолжено при изучении вопроса получения более

мелких фракций яичной скорлупы при использовании аналитических моделей, например, гидродинамического разрушения ее фрагментов, предварительно подвергнутых механическому воздействию [1].

На твердую границу дефекта, образованного механическим воздействием во фрагментах скорлупы, накладывается условие ограничения по ее конфигурации, близкой к эллиптической форме. В результате воздействия транзитного потока на жидкость в дефектах возникает вращательное движение. Если не учитывать сопротивления движению жидкости, возникающего от влияния ее твердой и жидкой границ, то это движение, обусловленное указанными геометрическими связями, будет происходить по концентрическим замкнутым траекториям с равномерной окружной скоростью.

Обеспечивающие подобное движение силы могут быть представлены в виде функций окружной скорости движения жидкой частицы вдоль эллиптической траектории. Определим составляющие этой скорости из условия, что движение жидких частиц описывается уравнением эллипса в следующем виде:

$$\Psi = q \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right),$$

где ψ — функция тока;

x, y — текущие координаты жидкой частицы в декартовой системе;

a, b — большая и малая полуоси эллипсов, по которым движется жидкая частица;

q — постоянный параметр.

Составляющая окружной скорости вдоль оси x будет равна

$$U_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{2q}{b^2} y,$$

а составляющая вдоль оси y

$$U_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{2q}{a^2} x.$$

Тогда проекции силы равномерного движения жидкости по эллиптическим траекториям на оси координат можно представить как

$$N_x = \kappa_1 U_x = \kappa_1 \frac{2q}{b^2} y = c_1 y,$$

$$N_y = \kappa_2 U_y = \kappa \frac{2q}{a^2} x = c_2 x,$$

где $\kappa_1, \kappa_2, c_1, c_2$ — постоянные коэффициенты.

В действительности, рассматриваемое движение жидкости в дефекте является неравномерным в течение периода ее обращения за счет возникающих при этом сил сопротивления.

Следовательно, во-первых, необходимо учесть внутреннюю силу сопротивления движению жидкости в каверне, возникающую от влияния вязкости, благодаря которой главным образом происходит диссипация энергии, накопленной жидкостью в каверне от транзитного потока.

Эту силу сопротивления можно принять пропорциональной скорости движения жидкости в каверне и представить в виде

$$T_1 = -\lambda V^n,$$

где λ — коэффициент пропорциональности;

V — окружная (линейная) скорость неравномерного движения жидкой частицы вдоль эллиптических, но уже неконцентрических траекторий;

n — показатель степени, который может изменяться от 1 до 2.

Составляющие силы сопротивления T_1 вдоль оси x

$$T_{1x} = -\lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^n,$$

вдоль оси y

$$T_{2y} = -\lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^n.$$

Знак минус указывает на то, что силы сопротивления направлены в противоположном направлении скорости движения жидкости. Во-вторых, кроме указанных сил, должны также быть учтены силы сопротивления, возникающие на поверхности раздела между транзитным потоком и жидкостью в дефекте. Эти силы можно записать в виде функции относительной скорости движения жидкости на поверхности раздела, выразив ее через скорость транзитного потока v_0 и соответствующую неравномерность $\frac{dx}{dt}$ окружной скорости движения жидкости в дефекте вдоль оси x .

Тогда имеем

$$T_2 = \varphi \left(v_0 \pm \frac{dx}{dt} \right).$$

Знак \pm перед производной $\frac{dx}{dt}$ показывает, что в общем случае скорость движения жидкости в дефекте может отличаться от скорости транзитного потока на некоторую величину. Для наглядности возьмем здесь знак минус, предполагая, что при подобном взаимодействии может существовать тенденция к отставанию скорости движения жидкости в дефекте против скорости транзитного потока.

Составим динамические уравнения движения жидкой частицы в выемке, предположив, что весом частицы можно пренебречь.

Тогда имеем

$$F_x = T_{1x} + N_x + T_2; \quad F_y = T_{1y} + N_y, \quad (1)$$

где через F_x и F_y обозначены проекции равнодействующей силы на координатные оси.

Перепишем систему уравнений (1), подставляя значения найденных ранее сил и их проекций, а также учитывая, что $F = mw$, где m — масса жидкой частицы, а w — ее ускорение

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^n - c_1 y &= \varphi \left(v_0 - \frac{dx}{dt} \right), \\ m \frac{d^2y}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^n + c_2 x &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Система уравнений (2) представляет собой неоднородную нелинейную систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

С помощью полученных уравнений можно провести исследования различных состояний жидкости в дефекте в зависимости от характера внешних связей и воздействия со стороны транзитного потока, проходящего мимо. Достигение определенных значений ускорений потока связано с появлением центробежных сил, вызывающих напряжения, соизмеримые с прочностью материала. Это вызывает разрушение материала и отделение более мелких по сравнению с первоначальным дефектом частиц. Итерационный характер такого разрушения

позволит добиться любой заданной дисперсности при измельчении [2].

Учитывая, что в общем случае составляющие силы сопротивления T_1 и T_2 вдоль координатных осей могут зависеть от степени механического воздействия на первоначальные фрагменты, следует дополнительно предположить зависимость коэффициента λ в уравнениях системы (2) соответственно в первом уравнении от x , а во втором — от y .

Практическая реализация условий, описанных в предлагаемой модели, например в кавитационно-истирающих мельницах, позволит выявить оптимальное количество содержания пищевой добавки в рецептуре кондитерских изделий.

Экспериментальное значение содержания кальция в готовом полуфабрикате (на примере бисквита основного) в 12–15 раз выше расчетного. А это означает, что смесь муки со скорлупой куриных яиц в процессе приготовления бисквитного теста дает ценный кальцийсодержащий продукт.

Список литературы

1. Алексеев Г. В., Кондратов А. В., Верболоз Е. И. Модель кавитационного разрушения пищевого сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 11.
2. Алексеев Г. В., Кондратов А. В., Верболоз Е. И., Арем В. А. Изучение режимов кавитационного разрушения пищевого сырья как элемента нанотехнологий // Известия СПбГУНПТ. 2007. № 3.