УДК 637.5

Выбор математического описания процесса термообработки колбасных изделий в белковой оболочке.

Д.т.н. Вороненко Б.А., Пеленко В.В., аспирант Хатченко Е.П.

Факторы, сдерживающие развитие техники термической обработки мясопродуктов, обусловлены многообразием и сложностью ключевых процессов и базового оборудования и, как следствие, отсутствием законченных аналитических расчетных методов.

Сказанное определило необходимость математического описания процесса тепловой обработки колбасных изделий в белковой оболочке.

Если считать батон колбасы однородной и изотропной средой, белковую оболочку (в первом приближении) невлагопроводной, а температуру боковой (наружной) цилиндрической поверхности батона постоянна, то математически задачу совместного тепло- и массопереноса для двухслойной среды батон-оболочка можно сформулировать следующим образом:

Требуется решить систему дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных [1]

$$\frac{\partial t_1(r,\tau)}{\partial\tau} = a_{q_1}\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial t_1(r,\tau)}{\partial r}\right) + \frac{\varepsilon\rho}{c_{q_1}}\cdot\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial\tau} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial U(r,\tau)}{\partial\tau} = a_m\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial U(r,\upsilon)}{\partial r}\right) + a_m\delta\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial t_1(r,\tau)}{\partial r}\right); \qquad (2)$$

$$(\tau>0;\ 0<r<R1)$$

$$\frac{\partial t_2(r,\tau)}{\partial\tau} = a_{q_2}\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial t_2(r,\tau)}{\partial r}\right); \qquad (3)$$

$$(\tau>0;\ R1<r<R2)$$

при следующих краевых условиях:

$$t_1(r,0) = t_2(r,0) = t_0 = const; \qquad (4)$$

$$U(r,0) = U_0 = const; \qquad (5)$$

$$\frac{\partial U(0,\tau)}{\partial r} = \frac{\partial t_1(0,\tau)}{\partial r} = 0; \qquad (6)$$

$$t_1(0,\tau) < \infty;\ U(0,\tau) < \infty; \qquad (7)$$

$$t_1(R_1,\tau) = t_2(R_1,\tau); \qquad (8)$$

$$\lambda q_1\frac{\partial t_1(R_1,\tau)}{\partial r} = \lambda q_2\frac{\partial t_2(R_1,\tau)}{\partial r}; \qquad (9)$$

$$\frac{\partial U(R_1,\tau)}{\partial r} + \delta\frac{\partial t(R_1,\tau)}{\partial r} = 0; \qquad (10)$$

$$t_2(R_2,\tau) = t_c = const; \qquad (11)$$

Здесь (1) и (3) – уравнения теплопереноса в батоне и оболочке соответственно.

Уравнение (2) — уравнение влагопереноса в батоне.

Равенства (4) и (5) — условия равномерности температур и влагосодержания в батоне и оболочке в начальный момент процесса (τ=0) — начальные условия.

Выражения (6) и (7) — условия симметричности и физической ограниченности потенциалов внутри материала.

Равенства (8) и (9) — граничные условия четвёртого рода, выражающие равенства температур и тепловых потоков при хорошем контакте на внутренней поверхности цилиндрической оболочки.

Уравнение (10) — условие влагоизоляции на внутренней поверхности оболочки.

Уравнение (11) — граничные условия первого рода (наружная поверхность оболочки мгновенно принимает температуру среды, которая во время процесса тепловой обработки колбасного батона не изменяется).

Индекс i =1 относится к батону, индекс i = 2 — к оболочке.

Уравнение теплопроводности (3) записано для полого цилиндра, однако, учитывая, что наружная оболочка тонкая в сравнение с радиусом внутреннего цилиндра, в первом приближение её можно считать плоской. Поэтому уравнение теплопроводности для неограниченной пластины:

$$\frac{\partial t_2(r,\tau)}{\partial \tau} = aq_2 \frac{\partial^2 t_2(r,\tau)}{\partial r^2}; \qquad (12)$$

$$(\tau > 0,\ R_1 < r < R_2)$$

Решение краевой задачи (1) – (2), (4) – (12) даст распределение температуры и влагосодержания в колбасном батоне, т.е. поля температур и влагосодержания, что позволит в дальнейшем определить темпы нагрева, усреднённые значения температуры и влагосодержания, энергозатраты, необходимые для доведения продукта до полной готовности. После проверки конечных решений на адекватность реальному процессу будут предложены формулы для инженерных расчётов температуры и влагосодержания в любой момент времени в любой точке батона.

Полученные аналитические решения позволят решить и обратную задачу: определение времени термической обработки продукта.

Список литературы

1. Лыков А.В., Михайлов Ю.В. Теория тепло- и массопереноса.-М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.– 535 с.