

Об определении продолжительности прогрева реактора при гидролизе отходов птицеперерабатывающих комплексов

Д-р техн. наук С.В.ФРОЛОВ, д-р техн. наук В.Е.КУЦАКОВА, А.С. МОСКВИЧЕВ
СПбГУНиПТ

The first stage of wastes of poultry processing factories hydrolyze – heating of the reactor by vapor – is considered. The method of heating process time calculation for complex system – liquid with solid poultry – is suggested.

В настоящее время все актуальнее становится вопрос разработки технологии переработки отходов птицеперерабатывающих комплексов. В число отходов входят непригодные в пищу или малооцененные тушки птиц, не отвечающие санитарно-гигиеническим требованиям, трупы павшей или больной птицы, а также перо, кишечное сырье, клювы, когти и т.д. При этом параметры процессов переработки должны гарантировать получение нетоксичного и обеззараженного конечного продукта.

Предлагаемая технология переработки включает гидролиз сырья [3]. В настоящей работе рассмотрена лишь первая стадия процесса, а именно прогрев отходов. В реактор загружаются непотрошеные тушки кур в оперении и раствор щелочи, которые имеют температуру порядка 20 °C. Далее осуществляется разогрев смеси до достижения оптимальной для гидролиза температуры (как правило, 100...120 °C). Теплоноситель – пар. Серьезной проблемой является расчет продолжительности прогрева сложной системы – жидкость + тушки, в которой взвешены твердые тела, поскольку размер тушек птиц слишком велик для того, чтобы пренебречь продолжительностью их прогрева. В настоящей работе предлагается простой приближенный метод такого расчета.

Пусть $t_c(\tau)$ – среднеобъемная температура тушки курицы, °C, как функция времени τ , с; $t_f(\tau)$ – температура жидкости в реакторе, °C (принимаем модель идеального перемешивания жидкости).

Как известно [1], при переменной температуре окружающей среды температура тела может быть записана в виде интеграла Диоамеля:

$$t_c(\tau) = t_f(\tau) + [T_c(\tau) - t_f(0)] - \frac{1}{T_c(0) - t_f(0)} \int_0^\tau t'_f(\theta) [T_c(\tau - \theta) - t_f(0)] d\theta, \quad (1)$$

где $T_c(\tau)$ – температура тушки при неизменной температуре жидкости, равной начальной $t_f(0)$.

Поскольку прогрев – процесс достаточно длитель-

ный, мы можем использовать приближение регулярного теплового режима [3]:

$$T_c(\tau) \approx t_f(0) + A [T_c(0) - t_f(0)] \exp(-m_c \tau), \quad (2)$$

где m_c – темп охлаждения тушки, с⁻¹; A – безразмерная константа (обе величины могут быть вычислены по известным формулам [4]).

Подставим (2) в (1), разложим функцию $t_f(\theta)$ в ряд Тейлора по степеням ($\theta - \tau$) и отбросим члены, содержащие $\exp(-m_c \tau)$, поскольку они малы при $\tau \rightarrow \infty$:

$$t_c(\tau) \approx t_f(\tau) + A[T_c(0) - t_f(0)] \exp(-m_c \tau) -$$

$$- A \int_0^\tau t'_f(\theta) \exp[-m_c(\tau - \theta)] d\theta;$$

$$\int_0^\tau t'_f(\theta) \exp[-m_c(\tau - \theta)] d\theta \approx$$

$$\approx \sum_{n=1}^{\infty} \frac{t_f^{(n)}(\tau)}{(n-1)!} \int_0^\tau (\theta - \tau)^{n-1} \exp[-m_c(\tau - \theta)] d\theta \approx \\ \approx \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} t_f^{(n)}(\tau)}{m_c^n}.$$
(3)

Учитывая тот факт, что начальные температуры жидкости и тушек совпадают [$T_c(0) = t_f(0)$], можно окончательно записать (3) в следующем виде:

$$t_c(\tau) \approx t_f(\tau) - A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} t_f^{(n)}(\tau)}{m_c^n}. \quad (4)$$

В формуле (4) второе слагаемое представляет собой “запаздывание” температуры внутри тушки по сравнению с температурой жидкости.

Теперь запишем уравнение теплового баланса для жидкости внутри реактора:

$$M_f C_f dt_f = \alpha S (t_0 - t_f) dt - M_c C_c dt_c, \quad (5)$$

где M_f и M_c – суммарные массы жидкости и тушек, кг; C_f и C_c – удельные теплоемкости жидкости и тушек, Дж/(кг·°C);

S – площадь поверхности реактора, омываемая паром, m^2 ;

t_0 – температура пара, $^\circ\text{C}$;

α – коэффициент теплоотдачи от пара к жидкости, $\text{Bt}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Подставив в (5) выражение (4) и разделив на dt , получим уравнение для определения $t_f(\tau)$:

$$-M_c C_c A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} t_f^{(n+1)}(\tau)}{m_c^n} + \\ + (M_c C_c + M_f C_f) t'_f + \alpha S t_f = \alpha S t_0. \quad (6)$$

Уравнение (6) – линейное дифференциальное уравнение бесконечного порядка с постоянными коэффициентами и специальной правой частью. Его физически корректное решение (не содержащее неограниченно рас тущих во времени экспонент), удовлетворяющее начальным условиям, следующее:

$$t_f(\tau) = t_0 + [t_f(0) - t_0] \exp(-m \tau), \quad (7)$$

где $(-m)$ – отрицательный корень характеристического уравнения:

$$-M_c C_c A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} (-m)^{n+1}}{m_c^n} + \\ + (M_c C_c + M_f C_f)(-m) + \alpha S = \\ = -M_c C_c \frac{Am^2}{m_c - m} + \\ + (M_c C_c + M_f C_f)(-m) + \alpha S = 0; \\ m = \frac{m_{f+c} + m_c - \sqrt{(m_{f+c} - m_c)^2 + 4m_{f+c}m_c DA}}{2(1 - DA)}; \quad (8)$$

$$m_{f+c} = \frac{\alpha S}{M_f C_f + M_c C_c};$$

$$D = \frac{M_c C_c}{M_f C_f + M_c C_c}.$$

Смысл введенных величин следующий:

m_{f+c} – темп охлаждения системы жидкость + тушки, если бы тушки также были жидкими и идеально перемешивались по объему реактора;

D – доля, которую составляют тушки в общей теплоемкости содержимого реактора.

Легко заметить, что при $m_c \rightarrow \infty$ получаем $m \rightarrow m_{f+c}$, как и должно быть, поскольку если тушки прогреваются очень быстро, то их температура практически равна температуре жидкости и вся система прогревается как единое целое. Также при $m_{f+c} \rightarrow \infty$ получаем $m \rightarrow m_c$, так как если жидкость прогревается очень быстро, то процесс лимитируется прогревом тушек [вообще, выраже-

ние (8) симметрично относительно m_c и m_{f+c}]. Кроме того, несложно показать, что всегда $m < m_c, m_{f+c}$, что тоже естественно и оправдывает наши вычисления [поскольку гарантирует сходимость ряда в (8)].

Соотношение (8) дает нам искомый темп охлаждения системы жидкость + тушки, с помощью которого определяется продолжительность прогрева жидкости до заданного значения температуры $t_f(\tau)$:

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left\{ \frac{t_0 - t_f(0)}{t_0 - t_f(\tau)} \right\}. \quad (9)$$

Подставив (7) в (4), получим выражение для среднеобъемной температуры тушек:

$$t_c(\tau) \approx t_0 + [t_c(0) - t_0] \left(1 + \frac{m}{m_c - m} A \right) \exp(-m\tau). \quad (10)$$

Таким образом, продолжительность прогрева тушек до заданной среднеобъемной температуры:

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left\{ \frac{t_0 - t_c(0)}{t_0 - t_c(\tau)} \left(1 + \frac{m}{m_c - m} A \right) \right\}. \quad (11)$$

Видно, что время прогрева тушек (11) всегда больше, чем время прогрева жидкости (9), как и должно быть.

Рассмотрим пример. Пусть в реактор объемом 10 m^3 и площадью поверхности $S = 25 \text{ m}^2$ загружено $M_c = 250 \text{ кг}$ тушек с удельной теплоемкостью $C_c = 3400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ и залито $M_f = 500 \text{ кг}$ раствора щелочи с теплоемкостью $C_f = 3400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ и начальной температурой $t(0) = 20^\circ\text{C}$. Реактор нагревается паром под давлением 3 атм, при этом его температура $t_0 = 133^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи от пара к жидкости в реакторе $\alpha = 400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [3]. Темп нагревания тушки курицы $m_c = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, константа $A = 0,75$ [4]. Тогда получаем $m_{f+c} = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$; $D = 0,29$; $m = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Пусть необходимо прогреть жидкость до температуры 120°C . Тогда по соотношению (9) получим $\tau = 134$ мин. Продолжительность прогрева тушки курицы до той же температуры по соотношению (11) $\tau = 172$ мин. Использование же темпа нагревания m_{f+c} даст заниженное время нагревания $\tau = 106$ мин.

Список литературы

- Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
- Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: ГХИ, 1959.
- Патент РФ № 2206231. Способ получения белкового гидролизата из кератинсодержащего сырья / В.Е. Куцакова, С.В. Фролов, А.В. Белова, К.Ю. Поляков, В.В. Леваков. МКИ С 2 7A 23 K 1/10, A 23 J 1/10. Опубл. 20.06.2003, Бюл. № 17.
- Фролов С.В., Куцакова В.Е., Кипnis В.Л. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов. – М.: Колос-Пресс, 2001.