

В. Г. Кузнецов, Р. К. Кузнецов, Г. А. Аминова,
В. А. Рязанова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗОЛЕНИЯ ОССЕИНА

Ключевые слова: математическая модель, кинетическая функция, технология желатина.

Предложена математическая модель процесса золения оссеина в производстве желатина, основанная на применении кинетической функции.

Keywords: mathematical model, the kinetic function, the technology of gelatin.

A mathematical model of the process of liming ossein in the production of gelatin, based on the application of the kinetic function.

Как показано [1], процесс золения осуществляется в аппаратах большой единичной емкости (12 - 120 м³ и более). Оссеин засыпается в аппарат, так называемый «зольник», и заливается известковой суспензией концентрацией 2,5% ("известковым молоком"). Взаимодействие известковой суспензии с оссеином продолжается до 60 и более суток при постоянной температуре 15°C и перемешивании содержимого сжатым воздухом и периодической замене известкового молока. В результате золения из оссеина извлекаются балластные белки: процесс продолжается в «кинетической области» [2], т.е. можно предположить, что время золения зависит от энергии активации, порядка реакции, гранулометрического состава и не зависит от гидродинамической обстановки, т.е. перемешивание предназначено лишь для обеспечения равного доступа суспензии ко всем частицам оссеина. Кинетические кривые процесса золения представлены на рис.1.

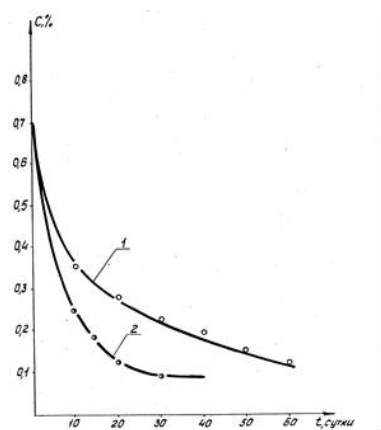


Рис. 1 - Кривые кинетики золения оссеина различной плотности: 1 - вид кости-трубка, фракция 10-14 мм, $c_k=2,5\%$, $T=287^\circ\text{C}$; 2 - вид кости-губка, фракция 10-14 мм, $c_k=2,5\%$, $T=287^\circ\text{C}$

При разработке математической модели процесса золения следуем методике, описанной в [3]. Считаем, что процесс ведется при постоянной температуре, время пребывания частиц в аппарате равно времени извлечения, т.е. времени извлечения балластных белков. Процесс периодический с нарастанием их концентрации до определенного предела (смена известкового молока проводится 1 раз в 2-3 дня). Отсюда,

можно считать концентрацию растворителя постоянной. Применяемые калибры: 3-8, 8-14, 14-18, 18-22 мм. На основании результатов эксперимента в лабораторных условиях, соответствующих промышленным, получены кинетические функции $\mu_{ki} = f(x_i)$, представленные на рис.2, описывающиеся следующими зависимостями:

Для калибра 3-8 мм

$$\mu_{k1} = 1 - 2,866x_1 + 3,405x_1^2 - 1,912x_1^3; \quad (1)$$

для калибра 8-14 мм

$$\mu_{k2} = 1 - 2,816x_2 + 3,868x_2^2 - 1,894x_2^3; \quad (2)$$

для калибра 14-18 мм

$$\mu_{k3} = 1 - 2,844x_3 + 3,972x_3^2 - 1,865x_3^3; \quad (3)$$

для калибра 18-22 мм

$$\mu_{k4} = 1 - 2,507x_4 + 3,301x_4^2 - 1,574x_4^3; \quad (4)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 - безразмерное время золения для каждого калибра.

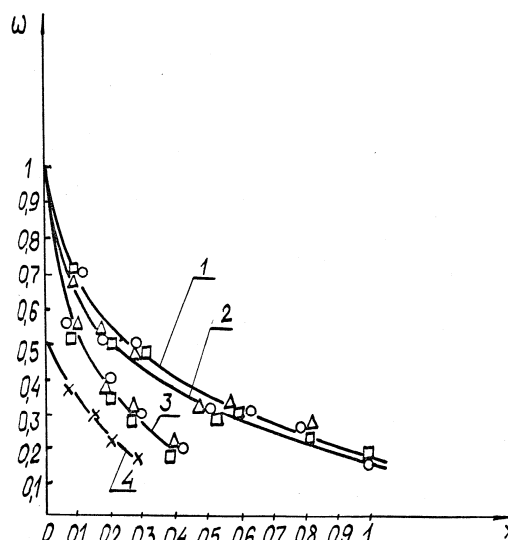


Рис. 2 - Кинетические функции процесса золения оссеина: 1 - фракция частиц кости 8 - 14 мм, $c_k=2,5\%$, $T=287^\circ\text{C}$; $c_k=2,5\%$, $T=297^\circ\text{C}$, $c_k=1,0\%$, $T=287^\circ\text{C}$; 2 - фракция 5-8мм; 3 - фракция 3-5 мм; 4 - фракция 8-14 мм (вид кости - губка)

В экспериментах возможно смешение калибров 3-8 мм, 8-14 мм или 14-18 мм, 18-22 мм; допускается смешение 3-х калибров, в частности, рассмотрим смешение калибров 8-14, 14-18 и 18-22 мм, В этом

случае гранулометрический состав полидисперсного продукта соответственно равен:

$$P_2 = G_2/G; P_3 = G_3/G; P_4 = G_4/G \quad (5)$$

Для нашего конкретного случая $P_2 = 0,12; P_3 =$

$0,265; P_4 = 0,615$. Здесь G - вес всей партии; G_i - вес партии одного калибра.

Зависимость безразмерного времени y_i полного извлечения балластных белков от гранулометрического состава может быть выражена как (рис.3).

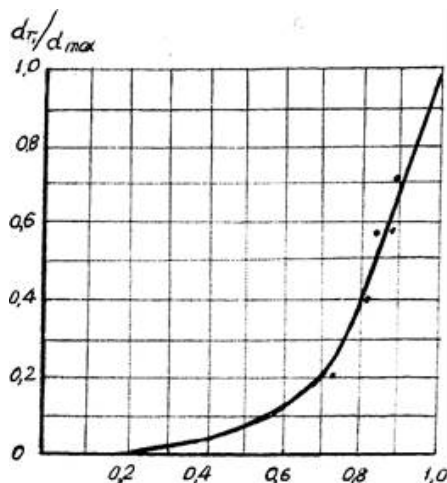


Рис. 3 - Зависимость относительного времени от гранулометрического состава деминерализованного оссеина

$$d_r / d_{\max} = (y_i)^n, \text{ где } n=4,17, \quad (6)$$

$$d_r = \sqrt[3]{6V_r/\pi}; V_r = 4\pi R^3/3,$$

где d_r - эквивалентный диаметр сферы, объём которой равен объёму частицы.

Для калибра 3-8 мм $d_r = 6,82$ мм, 8-14 мм - 13,64 мм, 14-18 мм - $d_r = 19,84$ мм; 18-22 мм - $d_r = 24,8$ мм. Примем также, что $d_{\max} = 35$ мм.

Из рис. 3 следует, что

$$\tau_{yi} / \tau_{\max} = y_i, \quad (7)$$

где τ_{yi} - время процесса золотения для заданных калибров,

$\tau_{\max}$ - то же для наибольшего калибра.

Зависимость (7) является практически коэффициентом масштаба для приведения всех кинетических функций к единому масштабу времени.

Для калибра 3-8 мм $y_1 = \tau_{y1} / \tau_{\max} = 45/60$; 8-14 мм

$$y_2 = \tau_{y2} / \tau_{\max} = 52/60;$$

$$14-18 \text{ мм } y_3 = \tau_{y3} / \tau_{\max} = 55/60;$$

$$18-22 \text{ мм } y_4 = \tau_{y4} / \tau_{\max} = 56/60;$$

$$y_5 \text{ } \varnothing 35 \text{ } = 60/60$$

Кинетическая функция полидисперсного состава, состоящего из смеси различных калибров, в общем виде выразится как

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n \mu(k) P \tau_{yi} / \tau_{\max}; n = \{2,3,\dots\} \quad (8)$$

Для конкретного случая (смешение трёх калибров)

$$\mu_k = \mu_{k2} P_2 \tau_{y2} / \tau_{\max} + \mu_{k3} P_3 \tau_{y3} / \tau_{\max} + \mu_{k4} P_4 \tau_{y4} / \tau_{\max} = \mu_{k2} \cdot 0,12 \cdot 52/60 + \mu_{k3} \cdot 0,265 \cdot 55/60 + \mu_{k4} \cdot 0,615 \cdot 56/60$$

где μ_{ki} определяется по уравнениям (1) - (4). Зависимости (1-4), (5), (6), (7), (8) следует дополнить выражениями для определения времени завершения процесса золотения при любых T и C (9), уравнениями для определения порядка реакции, энергии активации (10-11) и уравнением материального баланса (12)

$$\tau = \tau_{\max} \cdot e^{E/R \cdot (1/T - 1/T_0)} \cdot (2,5/C)^2 \quad (9)$$

$$E = [2,3 \lg(t_2/t_1)] / [1/T_2 - 1/T_1] \quad (10)$$

$$\alpha = [\lg(dt_2/dt_1)] / [\lg(c_1/c_2)] \quad (11)$$

$E = 18200-23500$ кал/моль; $E^{\text{cp}} = 19000$ кал/моль

$$\alpha = 0,18 - 0,21, \alpha_{\text{cp}} = 0,2 \quad \mu_{ki} = 1 - \eta,$$

$$\eta = LC/G_0 \quad (12)$$

Здесь τ - время золотения, сутки; $T^1 - 288\text{K}; 293\text{K};$

298K , T^0 - температура периодического опыта, R - универсальная газовая постоянная, 1987 кал/моль; α - порядок реакции; E - энергия активации; η - доля белков в растворе; L - количество растворителя; G_0 - начальное содержание балластных белков в оссеине; C - концентрация извлекаемого вещества в растворе.

Литература

1. Вигдорчик Б.М. и др. Математическое моделирование непрерывных процессов - Л., Химия, 1971, 240 с.
2. Старикова, Т.Н. Исследование процесса и повышение эффективности деминерализации костного шрота в производстве желатины: дисс. канд. техн. наук: 05.17.02: защищена 1982/ Старикова Т.Н. - Казань, 1982. - 272 с.
3. Белоглазов, И.Н. Твёрдофазные экстракторы/ И.Н. Белоглазов. - Л. Химия. 1985. - 240 с.
4. Джафаров, А.Ф. Производство желатина/ А.Ф. Джафаров. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.
5. Кузнецов В.Г., Кузнецов Р.К., Аминова Г.Г. Исследование структурных свойств шрота и оссеина. Вестник КНИТУ, 3, 2012
6. Кузнецов В.Г. и др. Определение коэффициентов свободной диффузии в процессах твердофазного экстрагирования в технологии желатина // Вестник КНИТУ, 2011 г., №20, с. 367-370.
7. Кузнецов В.Г. и др. Математическое моделирование процесса экстрагирования в технологии желатина/ Вестник КНИТУ, 2013, т.16, №8, с. 80-83.