

В. Г. Кузнецов, Р. Н. АскарOVA

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖИРИВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛАТИНА

Ключевые слова: обезжиривание, кинетическая функция, технология желатина.

Предложена математическая модель процесса обезжиривания дроблёного костного сырья, основанная на использовании кинетической функции.

Keywords: degreasing, kinetic function, technology of gelatin.

Proposed a mathematical model of the process of degreasing raw from the crushed bone, is based on the use of the kinetic function.

Технология обезжиривания содержит следующие основные операции: загрузку кости после её дробления, заливку дроблёной кости холодной водой или водой комнатной температуры, нагрев содержимого аппарата острым паром до температуры 70° С - 100° С. При этом сырьё практически неподвижно [1]. Нижняя граница температуры нагрева определена в соответствии с зависимостью доли жира, находящегося в твёрдой фазе, от температуры прогрева частиц: при $t=70^{\circ}\text{C}$ весь жир в порах находится в расплавленном состоянии [2], при $t > 100^{\circ}\text{C}$ происходит разрушение коллагена.

Математическая модель процесса обезжиривания дроблёного костного сырья основана на использовании кинетической функции [3].

Сформулируем основные требования к математической модели процесса:

- процесс периодический нестационарный;
- распределение кости по размеру частиц после дробления известно и определяется гистограммой или функцией Гаусса;
- среднее содержание жира в костном сырье определённого вида постоянно;
- соотношение массы воды и кости постоянно;
- скорость потока воды незначительна и зависит от расхода пара;
- концентрация жира в воде равна 0, так как часть жира после выделения из кости всплывает на поверхность, а оставшаяся часть сдерживается адсорбционными силами на поверхности частиц; в силу постоянства гранулометрического состава порозность слоя в лабораторных и промышленных условиях одинакова.

Кинетические кривые обезжиривания одного калибра при различных температурах приведены на рисунке 1.

Кинетические кривые в безразмерном виде представлены на рисунке 2.

Для калибра 3-8 мм, используя известную методику [4,5], остаточное содержание жира в кости определится выражением:

$$\mu_{k1} = \omega(x_1) = 1,0 - 1,43x_1 + 1,90x_1^2 - 1,19x_1^3 \quad (1)$$

для калибра 8-14 мм

$$\mu_{k2} = \omega(x_2) = 1,0 - 5,31x_2 + 7,87x_2^2 - 3,81x_2^3 \quad (2)$$

для калибра 14-18мм

$$\mu_{k3} = \omega(x_3) = 1,0 - 0,98x_3 + 4,01x_3^2 - 2,49x_3^3 \quad (3)$$

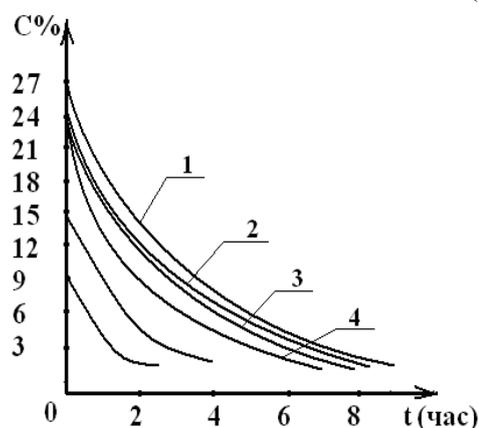


Рис. 1 - Кривые обезжиривания (калибр до 50 мм): 1 - 70°С, 2 - 80°С, 3 - 90°С, 4 - 100°С

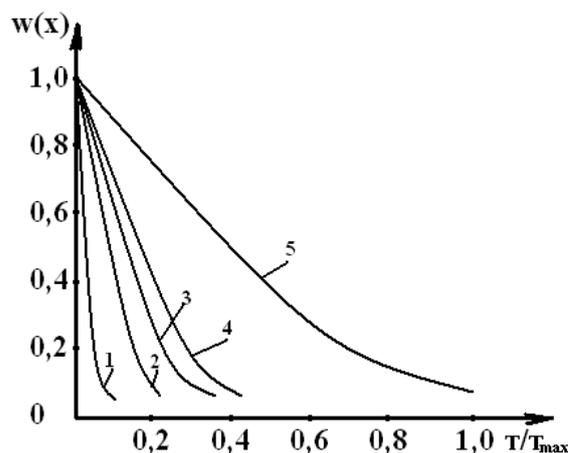


Рис. 2 - Кинетические функции для различного калибра ($t=90^{\circ}\text{C}$): 1- 3-8 мм, 2- 8-14 мм, 3- 14-18 мм, 4- 18-22 мм, 5- 50 мм

Время полного извлечения жира τ_{ni} для каждого калибра определится из рисунка 1. Для каждого калибра τ_{ni} связано с размером частицы зависимостью на рисунке 3:

$$y = \frac{d_r}{d_{\max}} = k \frac{\tau_{ni}}{\tau_{\max}}, \quad (4)$$

где относительный размер частиц y равен

$$y = \frac{d_r}{d_{\max}}$$

$$d_i = \sqrt[3]{6V_i / \pi}$$

V_i - объём частицы; κ - угол наклона прямой на рисунке 3; $\kappa = \operatorname{tg} \alpha = 1$

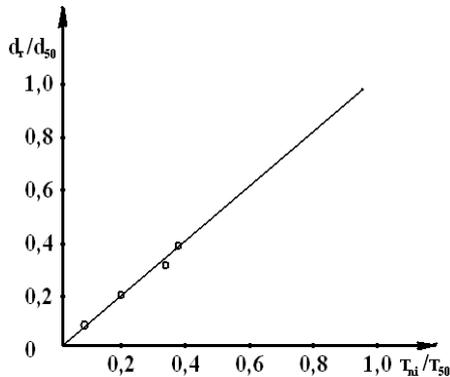


Рис. 3 - Зависимость времени обезжиривания от размера частиц

Для полидисперсного состава время полного извлечения жира τ_{\max} из частиц максимального размера определяет время отработки всего материала. Введём новую переменную

$$x = \tau_{ni} / \tau_{\max}$$

Связь её с $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ определится как:

$$x = x_1 \frac{\tau_{n1}}{\tau_{\max}}, \quad x = x_2 \frac{\tau_{n2}}{\tau_{\max}}, \quad x = x_3 \frac{\tau_{n3}}{\tau_{\max}},$$

$$x = x_i \frac{\tau_{ni}}{\tau_{\max}} \quad (5)$$

Из графиков на рисунках 2 и 3

$$\tau_{n1} / \tau_{\max} = 0,11; \quad \tau_{n2} / \tau_{\max} = 0,22; \quad \tau_{n3} / \tau_{\max} = 0,32;$$

$$\tau_{n4} / \tau_{\max} = 0,4$$

Для материала, для которого известна гистограмма распределения частиц, остаточное содержание жира в костном сырье определится из уравнения:

$$\mu_k = \sum \omega(x_i) p_i \tau_{ni} / \tau_{\max}, \quad (6)$$

где p_i - содержание кости одного калибра в смеси.

Например, если $p_1 = G_1/G = 0,12$; $p_2 = G_2/G = 0,27$; $p_3 = G_3/G = 0,61$, получим:

$$\mu_k = \omega_{1-3}(x) = \omega(x_1) p_1 \frac{\tau_{n1}}{\tau_{\max}} + \omega(x_2) p_2 \frac{\tau_{n2}}{\tau_{\max}} +$$

$$+ \omega(x_3) p_3 \frac{\tau_{n3}}{\tau_{\max}} =$$

$$= (1,02 - 1,43x_1 + 1,90x_1^2 - 1,19x_1^3) \cdot 0,12 \cdot 0,11 +$$

$$+ (1,01 - 5,31x_2 + 7,87x_2^2 - 3,81x_2^3) \cdot 0,27 \cdot 0,22 +$$

$$+ (1,0 - 0,98x_3 + 4,01x_3^2 - 2,49x_3^3) \cdot 0,61 \cdot 0,32$$

Время полного извлечения τ_{\max} в диапазоне 70-100⁰С связано с температурой экспериментально полученной зависимостью (7).

$$\tau_{\max} = 22,2e^{-0,014t_0} \quad (7)$$

Математическую модель следует дополнить уравнением материального баланса

$$\mu_{ki} = 1 - \eta, \quad \eta = LC / G_0, \quad (8)$$

где η - доля белков в растворе; L - количество растворителя; G^0 - начальное содержание жира в кости; C - концентрация извлекаемого вещества в растворе.

Литература

1. Джафаров, А.Ф. Производство желатина / А. Ф. Джафаров. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с.
2. Иванов, В.Е. Разработка процесса обезжиривания кости для получения костного шрота с целью создания непрерывно действующего оборудования. - Дисс...канд. техн. наук. - М., 1984.
3. Вигдорчик, Е.М., Шейнин А.Б. Математическое моделирование непрерывных процессов растворения. - Изд-во «Химия», Ленинградское отделение, 1971. - 246 с.
4. Кузнецов, В.Г., Кузнецов, Р.К., Рязанова, В.А., Аминова, Г.А. Математическое моделирование процессов экстрагирования в технологии желатина // Вестник КНИТУ. 2013. №8 С. 80-83.
5. Кузнецов, В.Г., Кузнецов, Р.К., Рязанова, В.А., Аминова, Г.А. Математическое моделирование процесса зольнения в технологии желатина // Вестник КНИТУ. 2013. №10 С. 304-306

© В. Г. Кузнецов – к.т.н., доцент кафедры ТКМ КНИТУ; Р. Н. Аскарова – магистр, асс. той же кафедры, ryshka08@gmail.com.

V. G. Kuznetsov – associate professor from department of structural materials technology, candidate of technical science of KNRTU; R. N. Askarova – master of engineering and technology, teaching assistant from department of structural materials technology of KNRTU, ryshka08@gmail.com.