

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖИРИВАНИЯ КОСТИ В ЦЕНТРИФУГЕ

Д 38

Н.Н.Мизерецкий , С.Г.Либерман , М.Л.Файвишевский

Во ВНИИМПе разработана технология комплексной переработки кости, предусматривающая двухстадийное последовательное обезжиривание тепловым способом /1/.

Первая стадия по этой технологии осуществляется сухим способом непрерывным методом в шнековом аппарате в течение 12 мин., при температуре 80-85°C. Извлеченный жир непрерывно ~~выводится~~ из шнекового аппарата и направляется на сепарирование, а кость повторно измельчается на дробилке.

Вторая стадия обезжиривания повторно измельченной кости проводится в центрифуге фильтрующего типа в течение 4 мин. при температуре 70-75°C /2, 3/.

Создание математической модели процесса обезжиривания кости в центрифуге дает возможность расчетным путем определить наиболее экономичный режим работы и оптимальный выход жира.

До настоящего времени в литературе не были освещены вопросы влияния различных технологических факторов на степень извлечения жира при центрифугировании кости /2/.

Нами установлено, что изменение содержания жира в кости (dG) в процессе центрифугирования прямо пропорционально содержанию жира в ней (G); квадрату угловой скорости вращения ротора центрифуги (ω^2), радиусу его (R), температуре костного сырья (t), продолжительности центрифугирования ($d\tau$) и обратно пропорционально среднему размеру частиц кости (δ) и степени уплотнения ее при центрифугировании (β), иными словами:

$$dG = -K_1 \frac{G \omega^2 R t d\tau}{\delta (1 + K_2 \tau)^2} \quad (I),$$

где K_1 и K_2 - коэффициенты пропорциональности, учитывающие физико-химические свойства сырья;

$$\beta = (1 + K_2 \tau)^2$$

Решая уравнение /I/, получим

$$\ln \left(\frac{G_1}{G_2} \right) = \frac{K_1 \omega^2 R t \tau}{\delta (1 + K_2 \tau)} \quad (2)$$

или

$$\eta = 1 - e^{-y} \quad (3)$$

где G_1 и G_2 - начальное и конечное содержание жира в кости соответственно $K_I = K \cdot K_2$;

η - степень извлечения жира по отношению к его начальному содержанию в кости, в долях единицы, $\eta = (G_1 - G_2) : G_1$

e - основание натуральных логарифмов;

y - безразмерный показатель степени, зависящий от режима и длительности центрифугирования, $y = k_1 \omega^2 R t : (1 + k_2 \tau)$

Для подтверждения достоверности полученных уравнений (2) и (3) нами были поставлены специальные опыты по центрифугированию кости в различных режимах (табл. I). Средний размер частиц кости определяли по суммарным кривым, представленным на рис. I, где кривая I характеризует дисперсный состав при измельчении кости на силовом измельчителе, кривая 2 - на дробилке через решетку с отверстиями диаметром 35 мм, а кривая 3 - с отверстиями 25 мм.

Таблица I

Показатели	Единица измерения	Позвонки		Эпифизы	
Содержание жира	%	I7 + 20		23 + 27	
Режим центрифугирования		I	II	III	IV
Скорость вращения ротора	$\frac{I}{сек.}$	131	210	210	210
Радиус ротора	м	0,4	0,225	0,225	0,225
Температура	°C	50+60	80+90	80+90	80+90
Средний размер частиц ^{x)}	м	$12 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$

^{x)} Средний размер частиц определяли по суммарным кривым дисперсности измельченной кости, фракционный состав которой определяли ситовым анализом.

Опыты проводили на центрифугах типа ТВ-450 и ТН-800 в интервале температур $45^{\circ} \leq t \leq 100^{\circ}\text{C}$. Замеры делали через каждые 30 сек. Результаты экспериментов (корреляционный график) представлены на рис. 2. Значение показателя $\ln \frac{G_1}{G_2}$ определяли (с точностью до 0,01) по табл. 2. Так, например, если $G_1 : G_2 = 1,53$, то $\ln(1,53) = 0,43$. Как видно из рис. 2, экспериментальные точки достаточно близко примыкают к расчетной прямой 1. Численные значения коэффициентов K , K_1 и K_2 , вычисленные с учетом данных табл. 1, 2 и рис. 1, приведены в табл. 3.

Наглядное представление о динамике процесса обезжиривания в центрифуге дает график $\eta = f(\tau)$ (см. формулу 3).

Подробный график, построенный для режима II (см. табл. I) изображен на рис. 3, где сплошной линией показаны расчетные, а точками - экспериментальные значения показателя η (аналогичное построение может быть произведено и для режимов I, III, IV).

Как видно из графика (см. рис. 3) основная масса жира (до 40+50% от его общего содержания в кости) извлекается из сырья в первые 1-2 мин. процесса центрифугирования. По мере уплотнения массы сырья в роторе центрифуги (что в формуле 3 учитывается показателем $\alpha = 1 + K_2 \tau$) извлечение жира все более и более затрудняется. Полученные нами экспериментальные данные дают основание считать, что при центрифугировании кости предельные значения показателя практически лежат в интервале $0,6 < \eta < 0,7$.

Разработанная нами методика позволяет расчетным путем определить выход жира при обезжиривании кости в центрифуге.

Таблица 2

$G_1 : G_2$	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
I,0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
I,1	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
I,2	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
I,3	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33
I,4	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40
I,5	0,41	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46
I,6	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53
I,7	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58
I,8	0,59	0,59	0,60	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,63	0,64
I,9	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69
2,0	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74

Таблица 3

С ы р ь е	$K_1 \frac{\text{сек.}}{\text{град.}}$	$K_2 \frac{1}{\text{сек.}}$
П о з в о н к и	$0,0675 \cdot 10^{-9}$	0,0027
Э п и ф и з ы	$0,135 \cdot 10^{-9}$	0,0027

Допустим, необходимо определить выход жира (в кг) после центрифугирования измельченных позвонков в течение $\tau = 30$ сек. ($\delta = 0,012$ м) в количестве 50 кг, с содержанием жира 18% при $\omega = 314$ (1/сек.), $R = 0,5$ м, $t = 80^\circ\text{C}$. Расчет ведем по формуле 2 с учетом данных табл. 3.

$$\ln\left(\frac{G_1}{G_2}\right) = \frac{0,0675 \times 10^{-9} \times 314^2 \times 0,5 \times 80 \times 30}{0,012 (1 + 0,0027 \times 30)} = 0,62$$

Далее по табл. 2 находим $0,62 = \ln(1,85)$,

$G_1 = 50 \times 0,18 = 9$ кг, что дает:

$$G_2 = 9 : 1,85 = 4,86 \text{ кг}$$

$$G_1 - G_2 = 9 - 4,86 = 4,14 \text{ кг}$$

$$\eta = 4,14 : 9 = 0,46$$

Таким образом, выход жира составляет 4,14 кг или 46% от его содержания в кости, взятой на центрифугирование.

В результате проведенных исследований установлена математическая зависимость выхода жира от условий центрифугирования кости и предложено дифференциальное уравнение процесса обезжиривания ее в фильтрующих центрифугах.

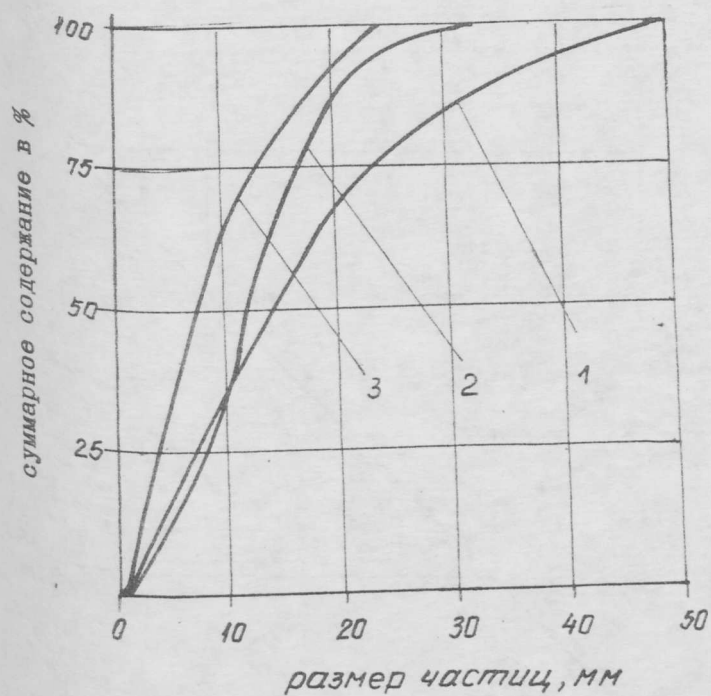


Рис. 1 - Суммарные кривые фракционного состава измельченной кости

1 - кость измельчена на силовом измельчителе

2 - кость измельчена на дробилке с решеткой диаметром 35мм

3 - кость измельчена на дробилке с решеткой 25 мм

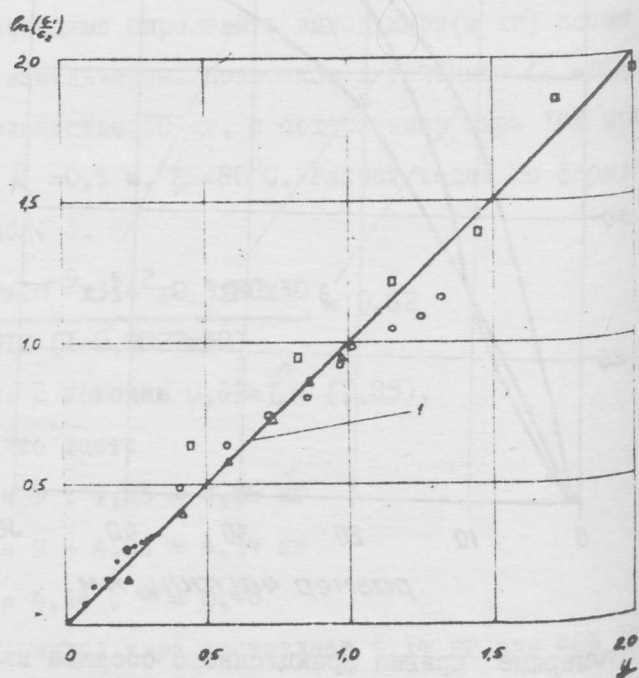


Рис. 2 - Корреляционный график

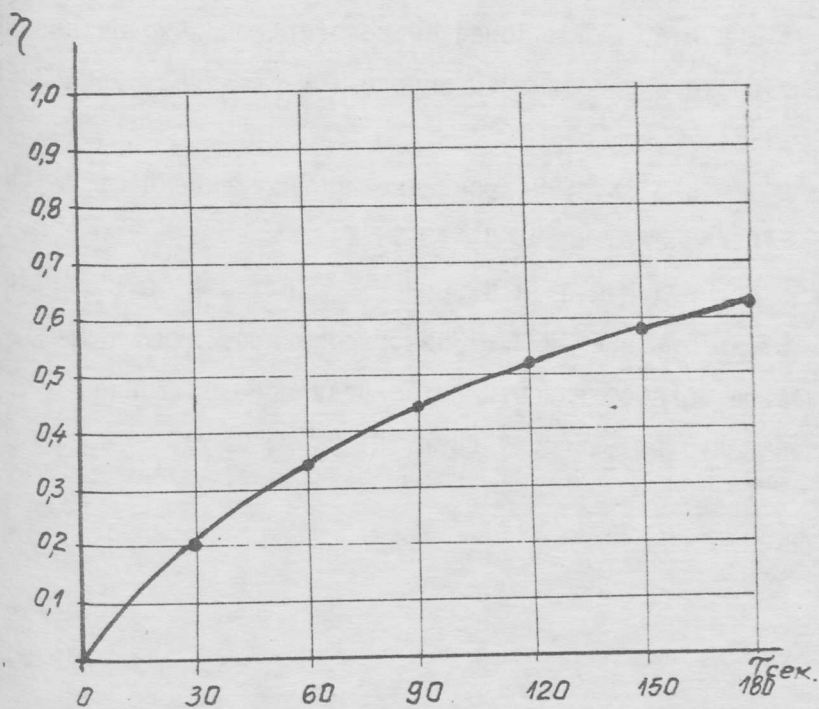


Рис. 3 - Изменение степени извлечения жира из кости в зависимости от продолжительности центрифугирования

ЛИТЕРАТУРА

1. С и н и ц ы н К.Д., Л и б е р м а н С.Г., Ф а й в и - ш е в с к и й М.Л. Новая технология комплексной переработки кости в непрерывном потоке. "Мясная индустрия СССР", 12, 1968.
2. С о к о л о в В.И. Современные промышленные центрифуги. Изд. "Машиностроение", М, 1967.
3. М и з е р е ц к и й Н.Н., Л и б е р м а н С.Г., Ф а й - в и ш е в с к и й М.Л. Зависимость продолжительности термической обработки кости от степени обезжиривания. Сборник "Мясная промышленность", ЦНИИТЭИ, 2, М, 1969.