

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДООБВАЛКИ КОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ

Р.Р. БАРБЕТТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР

А.Н. БОГАТЫРЕВ

Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике, Москва, СССР

Н.Н. МИЗЕРЕЦКИЙ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

В современных условиях проблема разработки безотходных технологий на основе комплексного и полного использования сырьевых ресурсов в мясной промышленности является актуальной. Наиболее значительные потери сырья в процессе промышленной переработки скота происходит на очень трудоемкой и слабомеханизированной операции обвалки мяса. При ручной обвалке на кости остается в среднем по комплекту до 9% мякотных тканей.

Проблема увеличения пищевых ресурсов и, в частности белков животного происхождения, — одна из важнейших во всем мире. Поэтому во многих странах /Голландии, Канаде, СССР, США, ФРГ и др./ интенсивно занимаются решением вопросов дообвалки кости. Для выполнения этой операции предложено большое число способов и устройств (основанных на резании, соскабливании, спирании, измельчении с последующим разделением компонентов, комплексном действии физико-химических и механических факторов), начиная от механизированного ручного инструмента и кончая автоматизированными агрегатами высокой производительности.

Одним из наиболее перспективных является способ дообвалки кости с применением солевых растворов, выгодно отличающийся от других простотой и дешевизной оборудования, низкими эксплуатационными затратами и высокими технологическими показателями получаемой мясной массы.

Обработка сырья по этому способу происходит при комплексном действии физико-химических и механических факторов в процессе его интенсивного перемешивания совместно с раствором NaCl. Происходящие при этом процессы обеспечивают снятие прирезей с кости с одновременной их технологической обработкой.

При контакте рассола с мышечной тканью прирезей возникает обменная диффузия, что влечет за собой перераспределение между ними соли, воды и растворимых веществ. Так, экстракция белковых веществ увеличивает полноту зачистки кости за счет извлечения белка из мышечной ткани, расположенной на участках поверхности кости с наиболее сложной конфигурацией, способствуя тем самым насыщению мясной массы водо- и солерастворимыми белками. Основные характеристики различных вариантов аппаратуры для осуществления этого процесса приведены в табл. I.

В качестве математической модели процесса дообвалки кости предлагается зависимость вида:

$$П = М \cdot \eta \quad (I)$$

- где
- П — производительность дообвалочного оборудования, кг/ч;
 - М — масса прирезей, поступающая на дообвалку, кг/ч;
 - η — количественный и качественный критерий полноты отделения прирезей от кости, в долях единицы ($0 \leq \eta \leq 1$).

Таблица I

Характеристика аппарата	Страна				
	СССР	СССР	СССР	СССР	Канада
Форма рабочей полости	Цилиндр	Цилиндр	Куб	Цилиндр	Цилиндр
Характерный размер, м	$\varnothing=1,5$	$\varnothing=1,1$	$\varnothing=1,2$	$\varnothing=1,3$	$\varnothing=1,7$
Объем, м ³	2,3	1,9	1,7	1,8	5,6
Форма турбулизаторов	Продольные пластины	Кулачки, гребни	-	Продольные выступы	Лопатки
Угловая скорость, 1/сек	1,5-2,1	3,6	1,1	1,5	1,1
Коэффициент угловой скорости	0,4-0,6	0,85	0,3	0,4	0,35
Коэффициент заполнения	0,3-0,5	-	0,5	0,6	-

Для определения величины критерия η по данным лабораторных анализов могут быть использованы зависимости различных иерархических уровней:

$$\eta_1 = \frac{A_1}{27,3 + A_2} \quad (2)$$

$$\eta_2 = \frac{A_3 \cdot \eta_3 - A_4 \eta_c - 0,86 \cdot A_5 \eta_x}{27,3 + A_2} \quad (3)$$

$$\eta_3 = \frac{A_6 \eta_n + A_7 \eta_c + A_5 \eta_x}{A_3} \quad (4)$$

$$\eta_n = \frac{(B_0'' - B_c'') q_m}{(B_0' - B_c') q_{пр}} \quad (5)$$

$$\eta_0 = \frac{B_c'' \cdot q_m}{q_{пр} (B_c' - 2,1) + 210} \quad (6)$$

$$\eta_x = \frac{Ж'' q_m}{Ж' q_{пр}} \quad (7)$$

$$A_1 = (B_0'' - 0,87 B_c'' + 0,14 Ж'') q_m \quad (8)$$

$$A_2 = (B_0' - 0,87 B_c' + 0,14 Ж' - 0,273) q_{пр} \quad (9)$$

$$A_3 = (B_0' + Ж' - 2,1) q_{пр} + 210 \quad (10)$$

$$A_4 = (0,87 B_c' - 1,827) q_{пр} + 182,7 \quad (11)$$

$$A_5 = Ж' q_{пр} \quad (12)$$

$$A_6 = (B_0' - B_c') q_{пр} \quad (13)$$

$$A_7 = (B_c' \eta_n - 2,1 q_{пр} + 210) \quad (14)$$

где B_0' , B_0'' , B_c' , B_c'' , $Ж'$, $Ж''$ - соответственно содержание общего белка, белка соединительной ткани и жира в прирезях и в мясной массе, %;

$q_{пр}$, q_m - соответственно количество прирезей и мясной массы по отношению к общей массе сырья /прирезей + кости/, %;

Математическая модель критерия η с учетом формул (2) - (14) может быть получена для конкретного типа оборудования и в виде функциональной зависимости η от основных факторов процесса дообвалки. Например, такая зависимость (В.М.Горбатов и др., 1978) для дообвалочной машины с рабочим органом в форме вращающихся роликов с режущими элементами имеет вид:

$$\eta = (1 - e^{-X}) \varepsilon \quad (15)$$

$$X = 6,06 \tau \varphi (1 - 0,83 \varphi) \quad (16)$$

где φ - коэффициент заполнения, в долях единицы ($0 \leq \varphi \leq 1$);

τ - продолжительность обработки сырья, ч;

ε - коэффициент потерь мясной массы, в долях единицы ($0 \leq \varepsilon \leq 1$).

Используя (15), (16) и очевидное:

$$M = \frac{V \cdot \varphi \cdot \rho \cdot q_{пр}}{\tau} \quad (17)$$

где V - объем рабочей полости оборудования, м³;

ρ - насыпная масса сырья, кг/м³, легко получить конкретное выражение зависимости (17)

Однако для оптимизации процесса обработки сырья критерия η недостаточно. Необходимо учитывать в первую очередь, лимитированное (законодательством) содержание костных включений в получаемой мясной массе, а, во-вторых, экономические показатели.

Ясно, что с течением времени обработки, ее эффективность снижается, так как на костях остается все меньше прирезей. С определенного момента обработка становится нерациональной, поскольку затраты на нее (в единицу времени) превышают прибыль, получаемую в виде мясной массы. Следовательно, обработка экономически целесообразна до тех пор (рациональная длительность обработки - τ_p), пока выполняется условие:

$$C_1 < C_2, \quad (18)$$

где C_1 - затраты на обработку сырья, руб./мин;
 C_2 - прибыль, получаемая от обработки сырья, руб.

На рис. I показаны геометрические образы поверхностей отклика моделей $\eta = f(\varphi, \tau)$, $\nu = f(\varphi, \tau)$ и зависимость $\tau_p = f(\varphi, \nu, q_{пр})$ для вышеупомянутого оборудования. Кривые I при $\eta = 0,6$; 2 - $\eta = 0,7$; 3 - $\eta = 0,8$; 4 - $\eta = 0,9$; 5 - $\eta = 0,93$; 6 - $\eta = 0,96$; 7 - $\eta = 0,99$; 8 - $\nu = 0,5\%$; 9 - $\nu = 1,0\%$; 10 - $\nu = 1,3\%$; $q_{пр} = 5\%$; II - $1,3\text{ м}^3$ и 10% ; 12 - $1,3\text{ м}^3$ и 15% ; 13 - $1,3\text{ м}^3$ и 20% ; 14 - $1,3\text{ м}^3$ и 25% ; 15 - $1,3\text{ м}^3$ и 30% ; 16 - $1,8\text{ м}^3$ и 20% ; 17 - $2,4\text{ м}^3$ и 20% ; 18 - $3,2\text{ м}^3$ и 20% (точки на рисунке показывают экспериментальные значения η).

Совместный анализ кривых на рис. I позволяет найти значения эксплуатационных параметров режима (φ и τ), обеспечивающие оптимальные показатели процесса. Режимы (см. рис. I), значения φ и τ которых расположены правее кривых 8, 9 (по качеству массы) и 10-18 (по экономическим соображениям) - неприемлемы. Таким образом, значения φ и τ определяются координатами точки касания кривой η зоны, находящейся слева от кривых ν (для нормированного значения) и τ_p (для данного типоразмера оборудования и $q_{пр}$). Так, например, при обработке сырья с содержанием прирезей $q_{пр} = 20\%$ в аппарате, имеющем объем $V = 1,3\text{ м}^3$ (кривая 13), и при нормированном уровне содержания костных включений в мясной массе $\nu_n = 0,5\%$ (кривая 8) - $\varphi = 0,6$, $\tau = 120$ мин. и $\eta = 0,974$. При тех же данных, но $\nu_n = 1,0\%$ (кривая 9) $\varphi = 0,78$; $\tau = 135$ мин. и $\eta = 0,977$.

Для оперативного получения этих данных целесообразно пользоваться заранее составленными таблицами. Например, для $V = 1,3\text{ м}^3$ (см. табл. 2).

Таблица 2

Q_c , кг	$q_{пр}$, %						
		5	10	15	20	25	30
200		63	89	104	114	123	130
		0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
250		68	93	105	115	124	131
		0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
300		73	96	109	119	126	132
		0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6
350		79	103	117	126	134	140
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
400		88	114	129	140	148	154
		0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1

Примечание. В числителе τ_p , мин; в знаменателе - ν , %.

Полученные модели могут быть использованы так же для автоматического управления процессом, в том числе в режиме АСУ ТП. Представленная на рис. I номограмма демонстрирует процедуру поиска зоны монотонного оптимума при условии его единственности. Сам поиск существенно облегчается наличием слабой нелинейности оптимизируемой функции и ее ограничений (парабола, гипербола, экспонента и их комбинации).

В рассматриваемом простейшем случае область рациональных режимов процесса дообвалки удалось найти методом пересечения проекций поверхности отклика на плоскости эксперимента (плоскость φ, τ).

Процедура поиска зоны оптимума принципиально усложняется, если поверхность отклика описывается неперiodической функцией типа "холмов" и "оврагов" (см. рис. 2), имеющей несколько максимумов и минимумов.

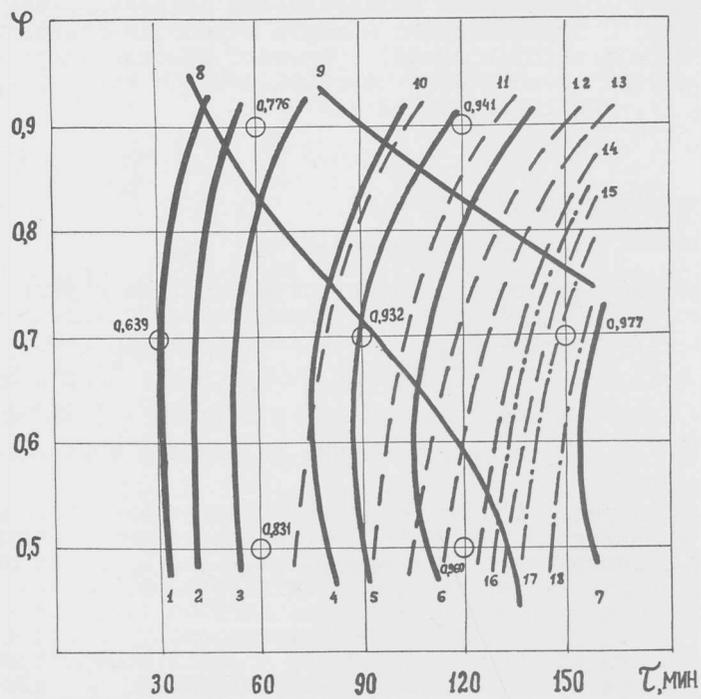


Рис.1. Номограмма для оптимизации режима обработки сырья.

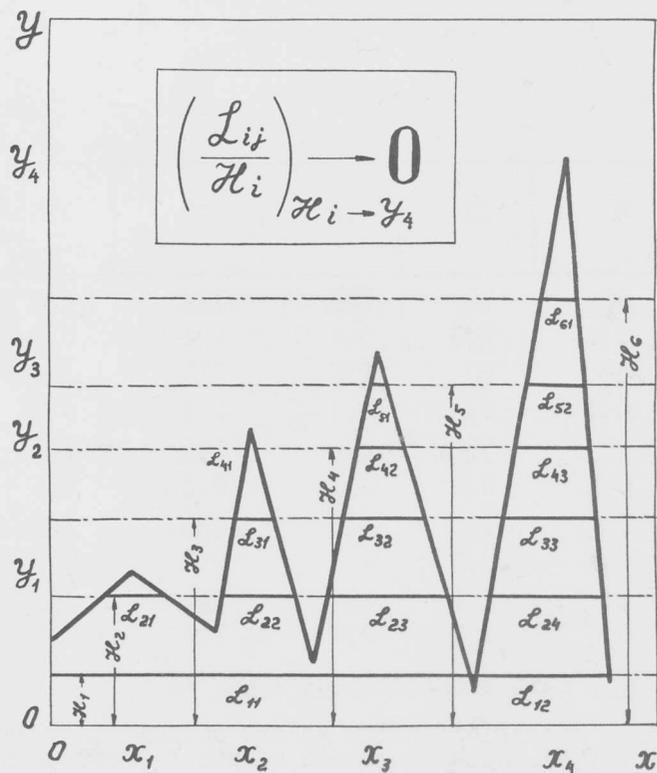


Рис.2. Схема поиска глобального оптимума методом стягивающих пересечений.

В этом случае единственным методом, позволяющим осуществить поиск оптимума до конца, является метод стягивающих пересечений, процедура применения которого представлена на рис.2 (Горюхов В.М. и др., 1978). С помощью предлагаемого метода оптимизации потери сырьевых ресурсов мясной промышленности могут быть значительно снижены.