

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДУБЛЕНИЯ МЕХОВОГО ПОЛУФАБРИКАТА МЕТОДОМ ГРАДИЕНТА

Сангинова О. В., Брановицкая С. В., Данилкович А. Г. *, Бондаренко С. Г.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

*Киевский национальный университет технологий и дизайна

В данной работе рассмотрено использование метода градиента для решения задачи многокритериальной оптимизации процесса хромового дубления мехового полуфабриката. Процесс дубления характеризуется использованием большого количества воды, экологически опасных химических реагентов, попаданием их в больших количествах в сточные воды и значительной продолжительностью физико-химической обработки [1-5]. Указанные недостатки процесса можно устранить как за счет усовершенствования технологической обработки, так и за счет оптимизации параметров дубления. При дублении мехового полуфабриката соединениями хрома (III), процесс структурирования основного белкового вещества шкур животных – коллагена дермы, осуществляется взаимодействием ионизированных карбоксильных групп боковых радикалов макромолекул коллагена с гидрокосульфатохромовыми комплексами дубителя [1, 6]. Суть процесса дубления мехового полуфабриката заключается в диффузии гидрокосульфатохромовых комплексов дубителя в структуру полуфабриката к активным группам макромолекул коллагена с обеспечением в дальнейшем их взаимодействия и образованием межмолекулярных химических связей взаимодействующих компонентов, обеспечивающих достаточно высокую гидротермическую устойчивость материала. При этом процесс получения структурированного полуфабриката с необходимыми физико-механическими и санитарно-гигиеническими свойствами состоит из стадий кислотносолевой обработки, собственного дубления и пластификации структуры при жировании.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации процесса дубления мехового полуфабриката, построен обобщенный критерий оптимальности вида:

$$f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i^*(\bar{x}), \quad (1)$$

где α_i – весовые коэффициенты, $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$.

Численные значения коэффициентов α_i определены на основе экспертных оценок специалистов, а безразмерные критерии $f_i^*(\bar{x})$ – по формуле:

$$f_i^*(\bar{x}) = \frac{f_i(\bar{x})}{f_{i \max}(\bar{x}) - f_{i \min}(\bar{x})}, \quad (2)$$

где $f_i(\bar{x})$ – «натуральные» значения i критерия, $f_{i \min}(\bar{x})$ и $f_{i \max}(\bar{x})$ – минимальное и максимальное значения i критерия, соответственно. Нормирование локальных критериев $f_i(\bar{x})$ ($i = \overline{1, k}$) вызвано тем, что локальные критерии, входящие в целевую функцию, имеют разную физическую природу, и, соответственно разную размерность.

Для решения задачи многокритериальной условной оптимизации (1), (2) был использован метод градиента. Выбранный метод хорошо зарекомендовал себя для решения разных задач нелинейного программирования, поскольку поиск экстремального значения проводится в направлении быстрого изменения целевой функции. Метод на каждом шаге использует информацию о значении целевой функции и ограничениях задачи.

Постановка задачи оптимизации состоит в следующем. Необходимо максимизировать функцию

$$f(\bar{x}) = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

$$y_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^3 (a_{ij}x_j + b_{ij}x_j^2 + c_{ij}x_ix_j), (i = \overline{1,5}) \quad (6)$$

при следующих входных параметрах: x_1 – содержание Cr_2O_3 , г/дм³; x_2 – электролитоустойчивый сульфатированный дипропиленгликолевый эфир (ДПГЕС), г/дм³ жировых веществ (ЖВ); x_3 – рН среды на завершающей стадии дубления (в значительной мере влияет на упруго-пластические свойства мехового полуфабриката). В качестве выходных переменных приняты: температура сваривания полуфабриката – y_1 , °С; концентрация в отработанной жидкости соответственно дубителя и ДПГЕС – y_2 , г/дм³ Cr_2O_3 и y_3 , г/дм³ ЖВ; границу прочности при растягивании – y_4 , МПа и полное удлинение при напряженности 4,9 МПа – y_5 , %. Коэффициенты математической модели (6) представлены в таблице:

$j \backslash i$	1	2	3	4	5
a_{ij}					
0	75,1587	$6,8995 \cdot 10^{-2}$	$4,4894 \cdot 10^{-2}$	295,97	44,289
1	7,5545	0,1064	$-5,0568 \cdot 10^{-2}$	0	2,7175
2	3,2862	0	0,1236	10,5183	4,3943
3	-2,5166	$-5,27382 \cdot 10^{-2}$	$2,2309 \cdot 10^{-2}$	8,5718	-2,5475
b_{ij}					
1	-2,5166	$5,0657 \cdot 10^{-2}$	$7,5076 \cdot 10^{-2}$	-16,5234	-9,9837
2	0	$9,9113 \cdot 10^{-2}$	$7,1533 \cdot 10^{-2}$	0	-2,9604
3	-1,4537	$3,4713 \cdot 10^{-2}$	5,9857	-6,957	-1,0117
При этом $c_{13} = -0,03125$					

Ограничения задачи оптимизации выбраны согласно технологическим соображениям [7] и приведены ниже: $0,9 < x_1 < 1,3$, $3,7 < x_2 < 4,2$, $3,6 < x_3 < 3,8$, $73 < y_1 < 76$, $0,05 < y_2 < 0,1$, $0,03 < y_3 < 0,08$, $280 < y_4 < 300$, $40 < y_5 < 45$.

Исходя из технологических и экономических требований к процессу дубления меховой овчины, величины y_1, y_4, y_5 максимизировали, а величины y_2, y_3 минимизировали. Весовые коэффициенты целевой функции α_i , полученные на основе экспертных оценок, имеют следующие значения: $\alpha_1 = 0,2$; $\alpha_2 = 0,2$; $\alpha_3 = 0,3$; $\alpha_4 = 0,15$, $\alpha_5 = 0,15$. Обобщенная целевая функция получена в соответствии с формулой (2) и с учетом $f_i^*(\bar{x}) = y_i^*$, где $y_i^* = \frac{y_i}{y_{i \max} - y_{i \min}}$,

имеет вид:

$$f(\bar{x}) = 8,0137 + 0,4645x_1 - 0,5273x_2 + 0,2841x_3 + \\ + 0,1248x_1x_3 - 1,2142x_1^2 - 0,5576x_2^2 - 0,3541x_3^2.$$

Согласно сформулированной задаче оптимизации, полученную обобщенную целевую функцию максимизировали.

В результате проведенных расчетов найдены оптимальные значения параметров, которые удовлетворяют принятым ограничениям: $x_1 = 1,20$; $x_2 = 3,46$; $x_3 = 3,71$; $y_1 = 75,912$; $y_2 = 6,86 \cdot 10^{-2}$; $y_3 = 3,83 \cdot 10^{-2}$; $y_4 = 296,24$; $y_5 = 43,82$.

Таким образом, в результате проведенных расчетов найдены оптимальные значения параметров процесса хромового дубления меховой овчины и соответствующее

значение целевой функции. Полученные данные позволят проводить процесс дубления мехового полуфабриката в оптимальном режиме: сократить его продолжительность, объем отработанных экологически вредных технологических растворов (не исследовалось, я бы это не писал) исключить из технологии биологически неразлагаемое инертное индустриальное масло И12А и поверхностно-активные вещества, необходимые для его эмульгирования, уменьшить расход экологически вредного хромового дубителя на 33 %, жирующих веществ в 2,5 раза и достичь практически полного поглощения химических реагентов при повышении качества конечного продукта.

1. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / А. Г. Данилкович, І. М. Грищенко, В. І. Ліщук [та ін.] ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. – 344 с.
2. Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів для створення конкурентоспроможних товарів [у 2 ч.] : монографія. Ч. I : Екологічно орієнтовані технології виробництва шкіряних та хутрових матеріалів / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, В. П. Плаван, Е. Є. [та ін.] ; за ред. А. Г. Данилковича. : К. : Фенікс, 2011. – 437, [3] с.
3. Данилкович А. Г. [Екологічні аспекти сучасних технологій шкіряного та хутрового виробництва](#) / А. Г. Данилкович, О. Г. Жигецкий // [Зб. наук. праць SIET 12-02 «Сучасні інформаційні та енергозберіг. технології життєзабезпечення людини»](#). – 2002. – Вип. 12. – С. 51-53.
4. Lischuk V. I. [Transformation of the collagen structure during beam-house processes and combined tanning](#) / V. I. Lischuk, V. P. Plavan, A. G. Danilkovich // Proceedings of the estonian academy of sciences. Engineering. – 2006. – № 12/3-1. – P. 188-198.
5. Екологічно ефективні ресурсощадні технології виробництва поліфункціональних шкіряних матеріалів / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, О. Г. Жигецкий, В. К. Жуковський // Матеріали Міжнародного Екологічного форуму «Довкілля для України». – 2013. – С. 138-141
6. Данилкович А. Г. Особливості взаємодії гідроксосульфатохромових комплексів з колагеном / А. Г. Данилкович // Вісник КДУТД. – 2001. – № 1. – С. 151-153.
7. Данилкович А. Г. Розробка технології дублення-жирування хутрової овчини та її багатокритеріальна оптимізація / А. Г. Данилкович, О. В. Василюк // Проблемы лёгкой и текстильной промышленности Украины. – 2000. – № 3. – С. 82-84.