

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДУБЛЕНИЯ
КОЖЕВЕННОГО ПОЛУФАБРИКАТА МЕТОДОМ ГРАДИЕНТА
SOLVING OF OPTIMIZATION TASK OF THE PROCESS OF CHROME
TANNING OF SEMI-FINISHED FUR USING GRADIENT METHOD**

Ольга В. Сангинова*, Слава В. Брановицкая*, Анатолий Г. Данилкович
Сергей Г. Бондаренко***

Аннотация: Сформулирована задача многокритериальной оптимизации процесса хромового дубления мехового полуфабриката и решена модифицированным методом градиента. Алгоритм метода градиента модифицирован для решения задач условной оптимизации.

Abstract: The problem of multi-criteria optimization of the process of chrome tanning of semi-finished fur is defined and solved using modified gradient method. The algorithm of gradient method is modified for solving constrained optimization tasks.

Ключевые слова: задача оптимизации, целевая функция, метод градиента, дубление, кожевенный полуфабрикат.

Keywords: optimization task, objective function, gradient method, tanning, semi-finished leather.

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, 2]. 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 гидроксосульфатохромовыми комплексами дубителя [1, 4]. Суть процесса дубления мехового полуфабриката заключается в диффузии гидроксосульфатохромовых 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 кислотно-солевой обработки, собственно дубления и пластификации структуры при жировании. Для решения задачи многокритериальной оптимизации процесса дубления кожевенного 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. Безразмерные критерии $f_i^*(\bar{x})$ определялись по формуле:

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

где $f_i(\bar{x})$ – «натуральное» значение 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

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

где $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ определяется явными ограничениями:

$$l_j \leq x_j \leq u_j \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

а также неявными ограничениями

$$q_i(\bar{x}) \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (5)$$

Метод градиента указывает направление быстрого роста целевой функции. При этом в данной работе метод был модифицирован включением в схему метода технологических ограничений (4), (5). Алгоритм модифицированного метода представлен на рис. 1.

Алгоритм метода был положен в основу программного модуля, который реализован с помощью объектно-ориентированого языка программирования «Visual Basic for Application». Разработанный программный модуль использован для поиска оптимальных значений обобщенной целевой функции. При разработке программного модуля предусмотрена возможность работы с явными и неявными ограничениями.

Задача определения оптимального состава трехкомпонентной смеси, используемой в процессе дублирования меховой овчины, рассматривалась как задача нелинейного программирования.

Основные исходные данные, характеризующие исследуемый процесс и качество готовой продукции, а также и влияют на ее себестоимость, в данной работе являлись параметрами оптимизации.

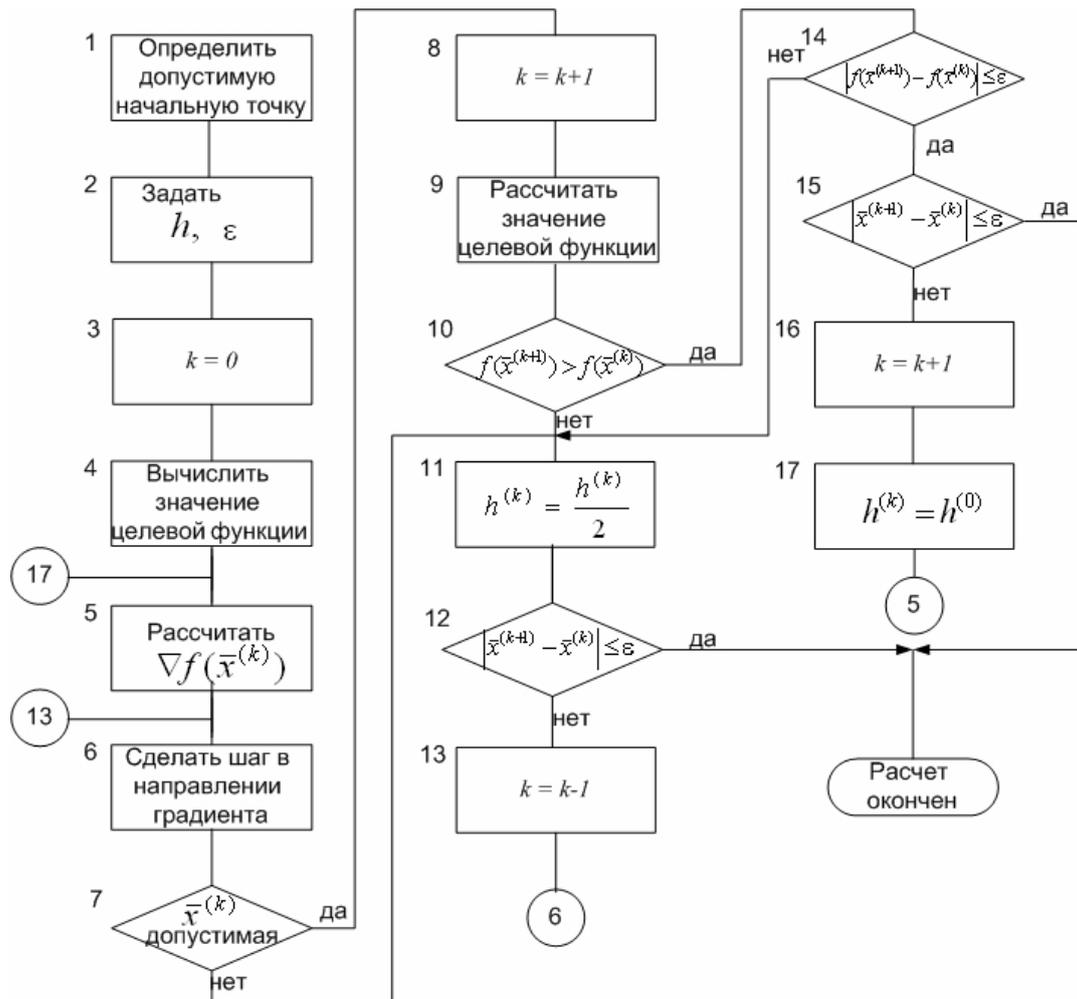


Рис. 1. Алгоритм модифицированного метода градиента

Математическое описание процесса дублирования было получено на основе композиционного ротатабельного плана Бокса-Хантера второго порядка с шестью экспериментальными точками в центре плана и представлено пятью регрессионными уравнениями [4]:

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

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 дублирования (в значительной мере влияет на упруго-пластические свойства кожевенного 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 1.

Ограничения задачи оптимизации выбраны согласно технологическим соображениям [3, 4] и приведены ниже: $0,9 < x_1 < 1,3$, $3,7 < x_2 < 4,2$,

$3,6 < x_3 < 3,8$, $73 < y_1 < 76$, $0,05 < y_2 < 0,1$, $0,03 < y_3 < 0,08$, $280 < y_4 < 300$, $40 < y_5 < 45$.

Таблица 1. Коэффициенты модели

j \ 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 $c_{13} = -0,03125$					

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 кожевенного полуфабриката (в данной работе меховой овчины) и соответствующее значение целевой функции. Полученные данные позволят проводить процесс дубления кожевенного полуфабриката в оптимальном режиме: 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.

Библиографический список

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 ефективні ресурсощадні технології виробництва поліфункціональних шкіряних матеріалів / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, О. Г. Жигоцький, В. К. Жуковський // Матеріали Міжнародного Екологічного форуму «Довкілля для України». 2013. с. 138-141.
3. Данилкович А. Г. Особливості взаємодії гідрокосульфатохромових комплексів з колагеном / А. Г. Данилкович // Вісник КДУТД. 2001. № 1. С. 151-153.
4. 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.