

УДК 677.017.56

**МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦОДЕЖДЫ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**OPTIMIZATION MODELS OF HEAT-SHIELDING PROPERTIES OVERALLS
IN HIGH-THERMAL CONDITIONS**

Н.С. МОКЕЕВА, В.А. ЗАЕВ, Р.О. ЖИЛИСБАЕВА, З.Д. МОЛДАГАЖИЕВА
N.S. MOKEEVA, V.A. ZAEV, R.O. ZHILISBAYEVA, Z.D. MOLDAGAZHIEVA

(Новосибирский технологический институт (филиал)
Московского государственного университета дизайна и технологии,
Алматинский технологический университет, Республика Казахстан)

(Novosibirsk Technological Institute (branch) Moscow State University of Design and Technology,
Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan)
E-mail: tdshi@yandex.ru

В работе рассмотрена проблема оптимизации состава слоев защитного пакета при проектировании спецодежды, эксплуатируемой в условиях воздействия высоких температур. Разработана и реализована математическая модель, учитывающая теплофизические свойства материалов и требования к конструкции. Предложен критерий эффективности, максимизирующий тепловое сопротивление защитного пакета.

The paper considers the problem of optimization the composition layers of protective overalls package under high temperatures. . Proposed the criterion optimization, account heat-shielding properties of materials.

Ключевые слова: математическая модель, оптимизация, спецодежда, тепловое сопротивление.

Keywords: mathematical model, optimization, working clothes, thermal resistance.

Процесс проектирования спецодежды, эксплуатируемой в условиях воздействия высоких температур, связан с исследованием теплофизических характеристик используемых материалов, оценкой теплозащитных свойств слоев одежды и выбором конструктивных решений [1]. Защитные свойства спецодежды зависят от выбора материала верха, теплоизолирующего слоя, подкладочных материалов, а также от конструктивных решений и дополнительной экипировки, включающей вспомогательные элементы одежды. Комбинирование указанных элементов позволяет учитывать запросы потребителей и проектировать спецодежду с определенными свойствами.

Теплоизолирующий пакет спецодежды будем рассматривать как плоскую многослойную стенку, состоящую из материала верха, теплоизоляционного слоя, подкладочного материала, воздушной прослойки, дополнительной экипировки (одежды), кожного покрова. Процесс теплопередачи от контакта нагретой окружающей среды с человеком можно разбить на следующие этапы: теплоотдача от нагретых предметов к поверхности спецодежды; теплопроводность через все слои спецодежды и дополнительной экипировки к внутренней поверхности защитного слоя; теплоотдача от внутренней поверхности защитного слоя к телу человека.

Очевидно, что максимальное достижение всех защитных характеристик в одежде практически невозможно, поскольку часто удовлетворение одних показателей противоречит выполнению других. В связи с этим актуальными становятся задачи проектирования спецодежды с оптимальными свойствами при обеспечении целого ряда показателей и ограничений.

В общем виде оптимизационную задачу проектирования спецодежды можно сформулировать следующим образом: определить перечень материалов, конструктивных решений и дополнительную экипировку одежды, которые удовлетво-

ряют заданным потребительским свойствам одежды и обеспечивают критерию эффективности оптимальное значение. В качестве критерия эффективности может быть выбрана максимизация теплового сопротивления, а параметры ограничений могут задаваться допустимой толщиной защитного пакета, финансовыми и технологическими возможностями, а также заданными требованиями к конструктивным решениям.

В целях формализации задачи обозначим через x_i булеву переменную выбора материала верха ($x_i = 1$ означает, что i -й материал используется в изделии, $x_i = 0$ – материал не используется); u_n – булеву переменную выбора дополнительной экипировки ($u_n = 1$ означает, что n -я экипировка используется в комплекте одежды, $u_n = 0$ – не используется); y_j – булеву переменную выбора j -го теплозащитного слоя ($y_j = 1$ – материал используется, $y_j = 0$ – материал не используется); z_k – булеву переменную выбора k -го подкладочного материала ($z_k = 1$ – материал используется, $z_k = 0$ – материал не используется).

При составлении математической модели необходимо учесть следующие требования: каждый материал может входить в защитный пакет не более одного раза; каждое конструктивное решение может быть использовано в изделии (элементе одежды) не более одного раза; каждый элемент дополнительной экипировки может использоваться в комплекте одежды не более одного раза; каждый комплект одежды должен удовлетворять требованиям технического, технологического, конструктивного, ресурсного и эксплуатационного характера.

Тогда математическая модель сформулированной задачи будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^{N_i} \frac{\ell_i}{\lambda_i} x_i + \sum_{j=1}^{N_j} \frac{\ell_j}{\lambda_j} y_j + \sum_{k=1}^{N_k} \frac{\ell_k}{\lambda_k} z_k + \sum_{n=1}^{N_n} \frac{\ell_n}{\lambda_n} u_n \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} \ell_i x_i + \sum_{j=1}^{N_j} \ell_j y_j + \sum_{k=1}^{N_k} \ell_k z_k + \sum_{n=1}^{N_n} \ell_n u_n \leq L, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} q_i x_i + \sum_{j=1}^{N_j} q_j y_j + \sum_{k=1}^{N_k} q_k z_k + \sum_{n=1}^{N_n} q_n u_n \leq Q_1, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} x_i = 1, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n_j} y_j = 1, \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{n_k} z_k = 1, \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^{n_n} u_n = 1, \quad (7)$$

$$x_i + y_j \leq 1, \quad i \in L_i, \quad j \in L_j, \quad (8)$$

$$y_j + z_k \leq 1, \quad j \in L_j, \quad k \in L_k, \quad (9)$$

где l_i, l_j, l_k, l_n – толщина соответствующего слоя; $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k, \lambda_n$ – коэффициент теплопроводности соответствующего слоя; q_i, q_j, q_k, q_n, q_m – финансовые затраты, требуемые для изготовления изделия (элемента одежды); Q_1 – общий объем финансов; L – допустимая толщина пакета; L_i, L_j, L_k, L_n – соответствующие множества несовместимых комбинаций.

Система соотношений (1)...(9) представляет собой задачу математического программирования с целочисленными переменными. Целевая функция (1) ориентирована на выбор таких значений переменных, которые обеспечивают спецодежде максимальные характеристики по теплозащитным свойствам пакета. Ограничения

(2), (3) обеспечивают выполнение требований на геометрические размеры пакета и финансовые затраты. Ограничения (4)...(7) определяют требования на использование материала в пакете, а также дополнительной экипировки в комплекте одежды. Система ограничений (8), (9) позволяет исключать появление несовместимых комбинаций при использовании материалов, конструктивных решений, а также дополнительной экипировки в проектируемом комплекте одежды. Если в конструкции предусмотрено, что детали одежды должны состоять из комбинации различных материалов, то соотношения (2)...(9) необходимо записать для каждого материала, входящего в комбинацию.

Следует отметить, что при необходимости система ограничений (2)...(9) может быть дополнена и другими соотношениями, определяющими дополнительные требования к одежде и производству, например, по весу, прочности и гигроскопичности материала верха. Решение задачи (1)...(9) дает оптимизированный вариант проектируемой одежды, однако для анализа могут оказаться полезными и другие допустимые комбинации материалов.

Численный расчет проводился для определения оптимального защитного пакета и выбора конструкции костюма для сварщика. В табл. 1 приведены значения теплофизических характеристик и технико-экономических показателей материалов и экипировки.

Т а б л и ц а 1

Наименование материала	Состав	Толщина слоя, мм	Стоимость за 1п.м, у.е.	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·С°
Ткань основн. арт. КТ-11	кремнеземные нити	0,33	900	0,17
Ткань основн. арт. 10202 АМ	100% х/б+ антистатическая нить	0,35	2365	0,05
Ткань основн. арт. 50402 Кл4	100% арамид	0,4	6000	0,1
Ткань основная арт. 11255	60% лен+40% х/б	0,35	1200	0,05
Ткань подклад. арт. 32107	вискозные нити	0,2	200	0,05
Ткань подклад. арт. 2608	хлопчатобумажная	0,2	150	0,05
Материал прокладочный	метаарамидные и шерстяные волокна	2,0	-	0,045
Воздушная прослойка		5,0	-	0,034
Кожный покров		0,5	-	0,383
Рубашка	хлопчатобумажная арт. 785	0,3	1200	0,05
Майка арт. 1639	фланель	0,2	600	0,05

Решение оптимизационной задачи проводилось с применением пакета программ Microsoft Excel. В результате расчетов получено, что оптимизированный защитный пакет должен состоять из следующих материалов: ткань основная арт. КТ-11; материал прокладочный в три слоя (метараamidные и шерстяные волокна); ткань подкладочная арт. 32107; рубашка хлопчатобумажная арт. 785.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая математическая оптимизационная модель позволяет сформировать

пакет материалов с максимальными теплозащитными свойствами с учетом требований технико-экономического, конструктивного и эксплуатационного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родичева М.В., Абрамов А.В., Павловская А.А. Исследование теплофизических показателей современных утеплителей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С.17...20.

Рекомендована Научно-техническим советом.
Поступила 05.05.15.
